

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



Caracterização morfodinâmica e sedimentar das praias de Santo Amaro e Paço d'Arcos

Mestrado em Ciências do Mar

Maria Teresa de Oliveira Cebola

Dissertação orientada por:
Professor Doutor César Freire de Andrade

ÍNDICE

Agradecimentos	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS	1
CAPÍTULO II - ENQUADRAMENTOS	3
II.1 - Enquadramento Geográfico	3
II.2 - Enquadramento Geológico	5
II.2.1 - Litoestratigrafia	5
II.2.2 - Enquadramento Geomorfológico	6
II.3 - Enquadramento Climático	13
II.3.1 - Temperatura, precipitação e vento	13
CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DAS MARÉS	14
CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE AGITAÇÃO	16
IV.1 - Agitação ao largo	16
IV.2 - Agitação costeira.....	20
IV.3 - Caracterização da agitação no período de estudo	26
IV.3.1 - Agitação ao largo	26
IV.3.2 - Agitação na zona costeira	30
CAPÍTULO V - METODOLOGIAS	33
V.1 - Trabalho de Campo	33
V.1.1 - Implantação de pontos de referência.....	33
V.1.2 - Levantamento de perfis transversais.....	35
V.1.3 - Levantamentos topográficos integrais	36
V.1.4 - Colheita de amostras de sedimento	36
V.2 - Laboratório	38
V.2.1 - Granulometria.....	38
V.2.2 - Calcimetria	39
V.3.1 - Tratamento dos dados obtidos no campo	40
V.3.2 - Tratamento dos dados de laboratório	41

CAPÍTULO VI - RESULTADOS	44
VI.1 - Santo Amaro	44
VI.1.1 - Morfologia	44
VI.1.2 - Sedimentos	51
VI.1.3 - Morfologia, morfodinâmica e retenção volumétrica	62
VI.2 - Paço d'Arcos	67
VI.2.1 - Morfologia	67
VI.2.2 - Sedimentos	74
VI.2.3 - Morfologia, morfodinâmica e retenção volumétrica	85
CAPÍTULO VII - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	89
VII.1 - Caracterização morfodinâmica	89
VII.2 - Parâmetro de <i>Dean</i>	91
VII.3 - <i>Surf scaling index</i>	93
VII.4 - <i>Beach cusps</i>	95
VII.5 - Energia, declive da face de praia e tamanho dos grãos.....	96
VII.6 - Agitação na zona costeira vs. morfologia	98
CAPÍTULO VIII - SÍNTESE	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS	108
CARTAS E MAPAS	108
ANEXOS	109

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II - ENQUADRAMENTOS

Figura II. 1 - Enquadramento geográfico das praias de Paço de Arcos e Santo Amaro. A- Portugal Continental; B- Região de Lisboa; C- Concelho de Oeiras; D- Praia de Paço de Arcos e Praia de Santo Amaro.....	4
Figura II. 2 - Enquadramento geológico das praias de Santo Amaro e Paço d’Arcos (extracto da Carta Geológica de Cascais, 34-C, escala 1:50000.	6
Figura II. 3 - Geologia da bacia hidrográfica da Ribeira da Lage representada nas folhas 34-A (Sintra)(2) e 34-C (Cascais)(1) da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50000.	11

CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE AGITAÇÃO

Figura IV. 1 - Localização do ponto utilizado na caracterização do regime de agitação ao largo (coordenadas 40°N, 10°W).....	16
Figura IV. 2 - Distribuição de frequências relativas de altura significativa (Hs).	17
Figura IV. 3 - Variação sazonal de Hs representada em gráficos de extremos e quartis.	18
Figura IV. 4 - Distribuição de frequências relativas do período médio (T).....	18
Figura IV. 5 - Distribuição conjunta da altura significativa (Hs) e do rumo (Dir.).....	19
Figura IV. 6 - Localização dos pontos de simulação utilizados.....	21
Figura IV. 7 - Domínios computacionais utilizados na modelação. Malha regional (a amarelo) e malha local (a vermelho).....	22
Figura IV. 8 - Matriz de transferência de altura significativa para a praia de Paço de Arcos.....	23
Figura IV. 9 - Matriz de transferência de altura significativa para a praia de Santo Amaro.	23
Figura IV. 10 - Matriz de transferência de rumo para o ponto de simulação TM1 em Tamariz: as linhas sólidas representam a razão entre altura significativa local e altura significativa ao largo; as linhas a tracejado representam a direcção de onda local). Taborda et al.(2013).	24
Figura IV. 11 - Distribuição de frequências relativas de altura significativa (Hs).	27
Figura IV. 12 - Variação sazonal de Hs representada num gráfico de extremos e quartis.	27
Figura IV. 13 - Distribuição de frequências relativas de período (T).	28
Figura IV. 14 - Distribuição conjunta da altura significativa (Hs) e de rumo (Dir.).....	29
Figura IV. 15 - Distribuição de frequências relativas de altura significativa (Hs) para a praia de Paço de Arcos e de Santo Amaro.	30
Figura IV. 16 - Distribuição de frequências relativas do período (T).....	31
Figura IV. 17 - Distribuição conjunta da altura significativa (Hs) e do rumo em Santo Amaro (à esquerda) e Paço de Arcos (à direita).	32

CAPÍTULO V – METODOLOGIAS

Figura V. 1 - Calcímetro EIJELKAMP utilizado na determinação do teor em carbonato de cálcio das amostras.	39
--	----

CAPÍTULO VI – RESULTADOS

Figura VI. 1 - Variação do perfil PSA1 no decorrer do periodo de monitorização.	45
Figura VI. 2 - Variação do perfil PSA2 no decorrer do periodo de monitorização.	46
Figura VI. 3 - Variação do perfil PSA3 no decorrer do periodo de monitorização.	47
Figura VI. 4 - Variação do perfil PSA4 no decorrer do periodo de monitorização.	48
Figura VI. 5 - Variação do declive da face de praia em cada um dos perfis, ao longo das 9 campanhas de campo realizadas.	49
Figura VI. 6 - Modelo Digital de Terreno realizado com o levantamento topográfico integral de dia 19 de Janeiro de 2015.	50
Figura VI. 7 - Modelo Digital de Terreno realizado com o levantamento topográfico integral de dia 26 de Março de 2015.	50
Figura VI. 8 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Variação do diâmetro médio (Mz) ao longo do tempo.....	52
Figura VI. 9 - Caracetrização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Regime de maior agitação vs. regime de calmaria.	52
Figura VI. 10 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Variação espacial.....	53
Figura VI. 11 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Caracterização de diferentes estruturas morfossedimentares.	53
Figura VI. 12 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de Mz vs. σ_1	54
Figura VI. 13 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de Mz vs. SKI.	54
Figura VI. 14 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de σ_1 vs. SKI.....	55
Figura VI. 15 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de Mz vs. KS.	55
Figura VI. 16 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução espacial de Mz vs. σ_1	56
Figura VI. 17 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução espacial de Mz vs. SKI.	56

Figura VI. 18 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução espacial de σ_l vs. SKI.....	57
Figura VI. 19 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução espacial de Mz vs. KS.	57
Figura VI. 20 - Representação dos polígonos envolventes das curvas granulométricas de Face e Berma de Praia.	58
Figura VI. 21 - Variação temporal do teor em carbonato de cálcio das amostras de sedimentos da praia de Santo Amaro.....	60
Figura VI. 22 - Variação espacial do teor em carbonato de cálcio das amostras de sedimentos da praia de Santo Amaro.....	60
Figura VI. 23- Variação do volume de areia nos perfis da praia de Santo Amaro [m^3/m].	64
Figura VI. 24 - Variação temporal do volume total de areia da praia de Santo Amaro.	65
Figura VI. 25 - Variação do perfil PPA1 no periodo de monitorização.....	67
Figura VI. 26 - Variação do perfil PPA2 no periodo de monitorização.....	68
Figura VI. 27 - Variação do perfil PPA3 no periodo de monitorização.....	69
Figura VI. 28 - Variação do perfil PPA4 no periodo de monitorização.....	70
Figura VI. 29 - Variação do declive da face de praia em cada um dos perfis, ao longo das 9 campanhas de campo realizadas.	71
Figura VI. 30 - Modelo digital de terreno elaborado em ArcGis referente ao levantamento topográfico integral realizado a 27 de Janeiro de 2015.....	72
Figura VI. 31 - Modelo digital de terreno elaborado em ArcGis referente ao levantamento topográfico integral realizado a 27 de Janeiro de 2015.....	73
Figura VI. 32 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d’Arcos. Variação do diâmetro médio (Mz) ao longo do tempo.....	74
Figura VI. 33 - Caracetrização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d’Arcos. Regime de maior agitação vs. regime de calmaria.	75
Figura VI. 34 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Variação espacial.....	75
Figura VI. 35 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d’Arcos. Caracterização de diferentes estruturas morfossedimentares.	76
Figura VI. 36 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d’Arcos. Evolução temporal de Mz vs. σ_l	77
Figura VI. 37 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d’Arcos. Evolução temporal de Mz vs. SKI.	77

Figura VI. 38 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de σ_1 vs. SKI.....	78
Figura VI. 39 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução temporal de Mz vs. KS.	78
Figura VI. 40 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução espacial de Mz vs. σ_1	79
Figura VI. 41 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução espacial de Mz vs. SKI.	79
Figura VI. 42 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução espacial de σ vs. SKI..	80
Figura VI. 43 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução espacial de Mz vs. KS.	80
Figura VI. 44 - Representação dos polígonos envolventes das curvas granulométricas da Lomba, Face e Berma de Praia.....	81
Figura VI. 45 - Variação temporal do teor em carbonato de cálcio das amostras de sedimentos da praia de Paço d'Arcos.	83
Figura VI. 46- Variação espacial do teor em carbonato de cálcio das amostras de sedimentos da praia de Paço d'Arcos.....	83
Figura VI. 47 - Variação do volume de areia nos perfis da praia de Paço d'Arcos [m^3/m].....	87
Figura VI. 48 - Variação temporal do volume total de areia da praia de Paço d'Arcos.....	87

CAPÍTULO VII - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Figura VII. 1 – Projeção dos pontos figurativos de cada perfil da praia de Santo Amaro no diagrama de Wiegel-Bascom, que correlaciona a inclinação da face de praia com o tamanho médio dos grãos (mm). Adaptado de Komar, 1976.	97
Figura VII. 2 - Projeção dos pontos figurativos de cada perfil da praia de Paço d'Arcos no diagrama de Wiegel-Bascom, que correlaciona a inclinação da face de praia com o tamanho médio dos grãos (mm). Adaptado de Komar, 1976.	97
Figura VII. 3 - Variação da altura significativa (H_s) na bóia de Leixões durante o periodo em estudo.....	99

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO II – ENQUADRAMENTOS

Tabela II. 1 - Unidades litostratigráficas presentes na bacia hidrográfica da Ribeira da Lage e respectivas áreas (calculadas em ambiente ArcGis).....	12
--	----

CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DAS MARÉS

Tabela III. 1 - Parâmetros de maré estimados para o período de monitorização. (Preia-mar máxima (PMmáx.); Preia-mar de águas vivas (PMAV); Preia-mar médio (PMméd.); Preia-mar de águas mortas (PMAM); Baixa-mar de águas mortas (BMAM); Baixa-mar médio (Bmméd.); Baixa-mar de águas vivas (BMAV); Baixa-mar mínimo (BMmín.)).	15
---	----

CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE AGITAÇÃO

Tabela IV. 1 - Domínios computacionais utilizados na modelação.	22
--	----

CAPÍTULO V – METODOLOGIAS

Tabela V. 1 - Resumo dos elementos relativos aos perfis estudados no campo, na praia de Santo Amaro.....	33
Tabela V. 2 - Resumo dos elementos relativos aos perfis estudados no campo, na praia de Paço d'Arcos.....	34
Tabela V. 3 - Data dos levantamentos topográficos integrais realizados em cada uma das praias em estudo.	36
Tabela V. 4 - Amostras recolhidas em cada campanha de campo realizada na praia de Paço de Arcos.....	36
Tabela V. 5 - Amostras recolhidas em cada campanha de campo realizada na praia de Santo Amaro.....	37
Tabela V. 6 - Classificação dos sedimentos com base no teor em carbonato de cálcio proposta por Baize (1988).	39
Tabela V. 7 - Classificação granulométrica de sedimentos essencialmente arenosos com base nos parâmetros estatísticos de Folk e Ward.	41

CAPÍTULO VI – RESULTADOS

Tabela VI. 1 - Resultados das calcimetrias realizadas nas amostras de sedimentos da face de praia da praia de Santo Amaro.....	59
--	----

Tabela VI. 2 - Resultados das calcimetrias realizadas nas amostras de sedimentos da berma da praia de Santo Amaro.....	61
Tabela VI. 3 – Retenção volumétrica por unidade de comprimento de costa [m ³ /m], nos diferentes perfis.	63
Tabela VI. 4 - Variação do volume de areia retidas nos perfis da praia de Santo Amaro [m ³ /m].	63
Tabela VI. 5 - Variação do volume de areia retidas nos perfis da praia de Santo Amaro (% do valor médio).	63
Tabela VI. 6 - Variação total do volume de areia na praia de Santo Amaro.	65
Tabela VI. 7 - Volume total da areia da praia de Santo Amaro calculado através dos MDT's. ...	66
Tabela VI. 8 - Resultados das calcimetrias realizadas nas amostras de sedimentos da face de praia da praia de Paço d’Arcos.	82
Tabela VI. 9 - Resultados das calcimetrias realizadas nas amostras de sedimentos da berma e lomba da praia de Paço d’Arcos.	84
Tabela VI. 10 – Retenção volumétrica por unidade de comprimento de costa [m ³ /m], nos diferentes perfis.	85
Tabela VI. 11 – Variação do volume de areia retido nos perfis da praia de Paço d’Arcos [m ³ /m].	86
Tabela VI. 12 - Variação do volume de areia retido nos perfis da praia de Paço d’Arcos (% do valor médio).	86
Tabela VI. 13 - Variação total do volume de areia na praia de Paço d'Arcos.	88
Tabela VI. 14 - Volume total da areia da praia de Paço d’Arcos calculado através dos MDT's. .	88

CAPÍTULO VII - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Tabela VII. 1 - Relações entre Ω , e a variabilidade morfodinâmica de praias de areia.....	91
Tabela VII. 2 - Valores do parâmetro de Dean para a praia de Santo Amaro.	92
Tabela VII. 3 - Valores do parâmetro de Dean para a praia de Paço d'Arcos.	92
Tabela VII. 4- Relações entre ξ , e a variabilidade morfodinâmica de praias de areia.....	93
Tabela VII. 5 - Valores de Surf scale index para a praia de Santo Amaro.....	93
Tabela VII. 6 - Valores de Surf scale index para a praia de Paço d'Arcos.	93
Tabela VII. 7 - Episódios de agitação extrema ocorridos durante o período de monitorização considerado.....	100

Agradecimentos

A realização deste trabalho apenas foi possível com o apoio, empenho e companheirismo das seguintes pessoas e entidades a quem gostaria de agradecer:

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor César Andrade por toda a sua disponibilidade, orientação e dedicação que demonstrou ao longo deste projecto.

À Rita Magalhães pela amizade, por toda a ajuda na elaboração deste trabalho, e pela motivação.

À geóloga Vera Lopes, pela disponibilidade e apoio demonstrado no laboratório e no processamento dos dados laboratoriais, e à Alexandra Oliveira por toda a disponibilidade e ajuda no esclarecimento de dúvidas.

À Tanya Silveira, à Mónica e à Mafalda Carapuço por todo o empenho, paciência e auxílio na modelação numérica e construção das matrizes de transferência.

Ao Centro de Geologia da Universidade de Lisboa e Departamento de Geologia da FCUL, pelo fornecimento dos meios necessários à concretização deste trabalho;

Ao IH (Instituto Hidrográfico), pela amável cedência de dados da bóia de Leixões.

Agradeço aos colegas da licenciatura Daniela Rato, Daniela Fernandes, João Silva e Alexandre Silva por todo o apoio prestado no campo e no laboratório.

E, por último, quero também agradecer à minha família, aos amigos e ao Ricardo pelo apoio e incentivo constantes ao longo desta caminhada.

RESUMO

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo da variabilidade sazonal do conteúdo morfológico e sedimentar das praias de Santo Amaro e de Paço d'Arcos, entre Outubro de 2014 e Junho de 2015.

Neste contexto, procedeu-se à monitorização destas praias realizando o levantamento mensal de quatro perfis topográficos, perpendiculares à orientação da praia, bem como dois levantamentos topográficos integrais. Para realizar o estudo dos sedimentos superficiais, foram recolhidas sistematicamente amostras de sedimento da face de praia e, ocasionalmente, da berma, em cada uma das campanhas, para caracterização textural e determinação do teor em carbonato de cálcio.

Os resultados sugerem que ambas as praias são de baixa energia, sendo a praia de Santo Amaro constituída por areias médias, moderadamente bem a muito bem calibradas, apresentando uma grande homogeneidade textural e composicional no espaço e no tempo. Relativamente à praia de Paço d'Arcos verificou-se que esta era constituída por areias médias, bem a muito bem calibradas, também elas homogéneas no espaço e no tempo.

Relativamente à morfologia, as praias em estudo revelaram, em quase todas as campanhas, características de um estágio morfodinâmico altamente refletivo, salvo raras exceções em que se apresentavam no estágio intermédio (perfil de lomba-canal/terraço de baixa-mar), onde se verificou a presença de alguns elementos dissipativos, como lombas e canais no sopé da face de praia, bem como um terraço de baixa-mar.

Durante o período de monitorização apenas foram registados 17 episódios de condições de agitação marítima extrema (sobretudo no Inverno marítimo). Estes não apresentam uma influência notória nas variações morfológicas observadas uma vez que as praias em estudo se encontram abrigadas da agitação ao largo. Assim, as ondas que chegam à praia de Santo Amaro não ultrapassam 1,5m de altura, e 1m na praia de Paço d'Arcos.

A resposta às variações sazonais é dada preferencial ou exclusivamente através da variação da inclinação da face de praia, que varia de 3 a 9° em Santo Amaro e de 2,6 a 5,8 em Paço d'Arcos.

Ambas praias apresentam uma boa capacidade de recuperação volumétrica face ao forçamento oceanográfico, com variações da retenção sedimentar sempre inferiores a 8% do volume médio observado.

Palavras-chave: Santo Amaro, Paço d'Arcos, praia, morfodinâmica, morfologia, sedimentos.

ABSTRACT

The main subject of this thesis consists in the study of the seasonal change of the morphological and sedimentary contents of Santo Amaro and Paço d'Arcos beaches, between October 2014 and June 2015.

With this purpose, these beaches were monitored the mentioned by conducting monthly surveys of four cross-shore profiles, as well as two full topographic surveys. In order to perform the study of the superficial sediments, sediment samples from the beach face, and occasionally from the berm, were collected in each of the campaigns. These sediments were processed in order to examine the texture and the content in calcium carbonate of the beach sediments.

The results suggest that both beaches are low-energy, but whereas the beach of Santo Amaro is made up of medium sand, moderately well sorted to well sorted, and presenting a great compositional and textural homogeneity in time and space, Paço d'Arcos is mainly composed of medium and very well sorted sand. The texture of sediments is also constant in time and space.

Regarding their morphology, the studied beaches revealed, in almost all campaigns, features of a highly reflective morphodynamic stage, with only few exceptions, when the morphodynamic arrangement was of an intermediate stage (ridge-runnel/low tide terrace), located between reflective and dissipative end-members.

During the monitoring period only 17 episodes of extreme wave propagation conditions were recorded (especially in the maritime winter). They do not have a noticeable affect on observed morphological changes as the beaches under study are sheltered from offshore agitation. Thus, the wave that arrive at Santo Amaro's beach do not exceed 1,5m high and 1m in Paço d'Arcos's beach.

The response to seasonal variations is given preferentially, or exclusively, by varying the slope of the beach face, ranging from 3 to 9 degrees in Santo Amaro and from 2,6 to 5,8 degrees in Paço d'Arcos.

The both beaches are resilient to oceanographic forcing, with volumetric variations within 8% of the average volumetric retention observed throughout the monitoring period.

Keywords: Santo Amaro, Paço d'Arcos, Beach, Morphodynamics, Morphology, Sediments.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Esta dissertação enquadra-se no programa de Mestrado em Ciências do Mar da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Nesta dissertação encontram-se explicados os métodos e resultados obtidos num trabalho de monitorização morfodinâmica e sedimentar das praias de Santo Amaro e Paço d'Arcos, bem como conclusões obtidas a partir destes, sobre a natureza do conteúdo sedimentar das praias e resiliência face ao forçamento oceanográfico e estados morfodinâmicos preferenciais.

O programa de monitorização decorreu durante nove meses, de Outubro de 2014 a Junho de 2015.

As zonas costeiras são constituídas por diversos elementos morfo-sedimentares, que dependem de conteúdos e processos geológicos, hidrodinâmicos, sedimentares, morfológicos e ecológicos. Estas características conferem à orla costeira diversidade e dinâmica natural complexas, que nem sempre são compatíveis com os variados usos a que está sujeita (ex. pesca, atividades portuárias e de transporte, lazer).

A zona costeira apresenta uma grande vulnerabilidade às ações naturais e do Homem, uma vez que se trata de um domínio afectado por intensa ocupação e pressão antrópica. Consequentemente podem ocorrer fenómenos com potencial de geração de risco, como a erosão ou o assoreamento de embocaduras de estuários e lagunas, que se relacionam com a variabilidade natural destes conteúdos morfo-sedimentares.

Perante o impacto económico, social e ecológico induzido por esta variabilidade, a resposta adequada terá que ser dada no sentido de um planeamento e gestão integrados dos usos destes espaços. Esta gestão terá necessariamente que se suportar no conhecimento da dinâmica da orla costeira tendo em conta a sua interdependência com o oceano e a zona terrestre, nomeadamente, as bacias hidrográficas (Fortunato *et al.*, 2008). O presente trabalho pretende contribuir para este conhecimento, abordando a variabilidade morfológica e sedimentar de duas praias balneares do concelho de Oeiras.

O principal objectivo desta dissertação consiste na caracterização morfodinâmica e sedimentar das praias de Santo Amaro e de Paço d'Arcos. Em particular, pretende-se abordar os seguintes aspectos:

- Estudo do conteúdo sedimentar de ambas as praias e da sua variabilidade sazonal;
- Estudo da variabilidade sazonal das praias referidas, a micro-escala temporal, no que se refere ao arranjo morfodinâmico;

- Caracterização morfológica e geológica da bacia hidrográfica da Ribeira da Lage, que drena para a praia de Santo Amaro, e avaliação da sua importância para o abastecimento sedimentar da praia;
- Praticar a utilização de dados oceanográficos para caracterizar a morfodinâmica e dinâmica sedimentar das praias;

Este trabalho encontra-se dividido em vários capítulos.

No Capítulo I é feita uma pequena introdução ao tema abordado no decorrer deste trabalho bem como uma definição dos seus objetivos.

No Capítulo II apresenta-se o enquadramento geográfico, geológico e climático das praias estudadas assim como uma caracterização geral da Ribeira da Lage (e da região envolvente), o principal curso de água directamente ligado às praias estudadas.

O capítulo III corresponde à caracterização geral das marés na costa portuguesa, bem como no período em que decorreu o programa de monitorização.

No capítulo IV, é feita uma caracterização do regime de agitação para uma situação de referência, e no período em que decorreu este trabalho.

No Capítulo V descreve-se a metodologia utilizada no campo, no laboratório e no gabinete.

O Capítulo VI consiste na apresentação dos resultados obtidos, sendo estes discutidos no capítulo VII.

E por último, no Capítulo VIII, efetuou-se uma síntese final.

O tema deste projeto bem como todos os trabalhos a ele associados foram supervisionados pelo Professor Doutor César Andrade.

CAPÍTULO II - ENQUADRAMENTOS

II.1 - Enquadramento Geográfico

A praia de Santo Amaro de Oeiras situa-se na freguesia de Oeiras e São Julião da Barra, concelho de Oeiras, distrito de Lisboa (Figura II. 1). Localiza-se a 20km de Lisboa, à entrada do estuário do Tejo, numa pequena baía a leste de S. Julião da Barra, onde se encaixou a foz da Ribeira da Lage. A praia desenvolve-se entre o forte de S. João das Maias (no extremo E) e a desembocadura da Ribeira da Lage (a W). O limite N da praia corresponde ao passeio marítimo, paralelo à estrada marginal, para lá da qual se desenvolve toda a zona baixa de Oeiras.

A praia apresenta forma trapezoidal, alongada segundo ENE-WSW. O areal tem cerca de 800 metros de comprimento e uma largura que varia dos 50 aos 100 metros.

A praia é de fácil acesso quer pela estrada marginal (EN-6), quer pelo comboio da linha de Cascais, através das estações de Santo Amaro e de Oeiras (a cerca de 300m).

A praia de Paço d'Arcos pertence à vila de Paço d'Arcos, uma freguesia do concelho de Oeiras, distrito de Lisboa, que faz fronteira com as freguesias de Cruz Quebrada, Dafundo, Porto Salvo e Oeiras.

Localiza-se 13km a poente da cidade de Lisboa. A praia é facilmente acessível a partir da estação de comboio de Paço d'Arcos (linha de Cascais), e pela estrada marginal. A praia desenvolve-se entre o molhe (curvo) da doca da Direção Geral de Faróis, no seu extremo E, e um troço de arriba baixa, a W, que se prolonga para poente por menos de 1km até à ponta das Maias.

Tem forma trapezoidal, alongada segundo NE-SW, comprimento médio de 200 metros, largura média de 60 metros e ocupa atualmente uma superfície de aproximadamente 9100 m².

A cobertura topográfica de ambas as praias é feita através da Carta Militar de Portugal, Folha 430-Oeiras, à escala de 1:25000, dos Serviços Cartográficos do Exército.

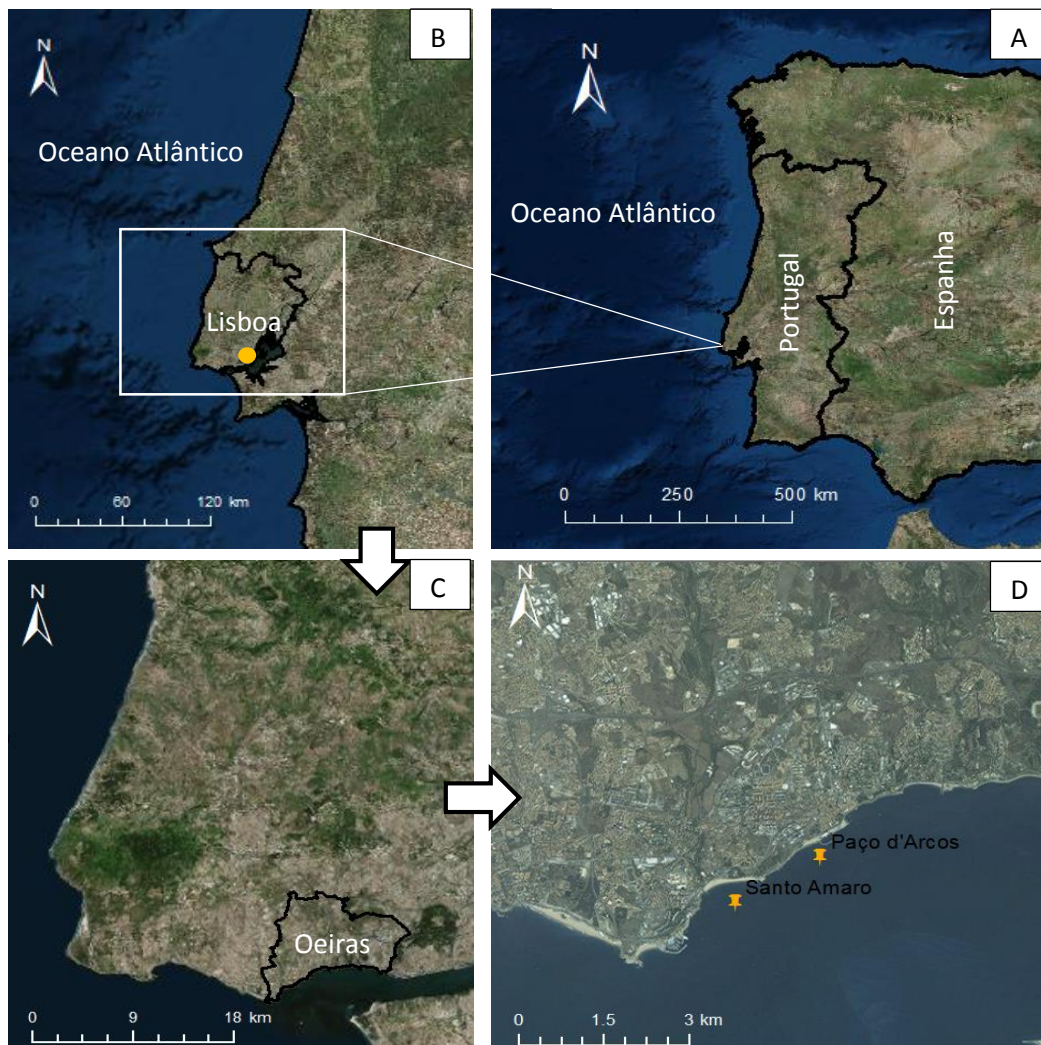


Figura II. 1 - Enquadramento geográfico das praias de Paço de Arcos e Santo Amaro. A- Portugal Continental; B- Região de Lisboa; C- Concelho de Oeiras; D- Praia de Paço de Arcos e Praia de Santo Amaro.

II.2 - Enquadramento Geológico

II.2.1 - Litoestratigrafia

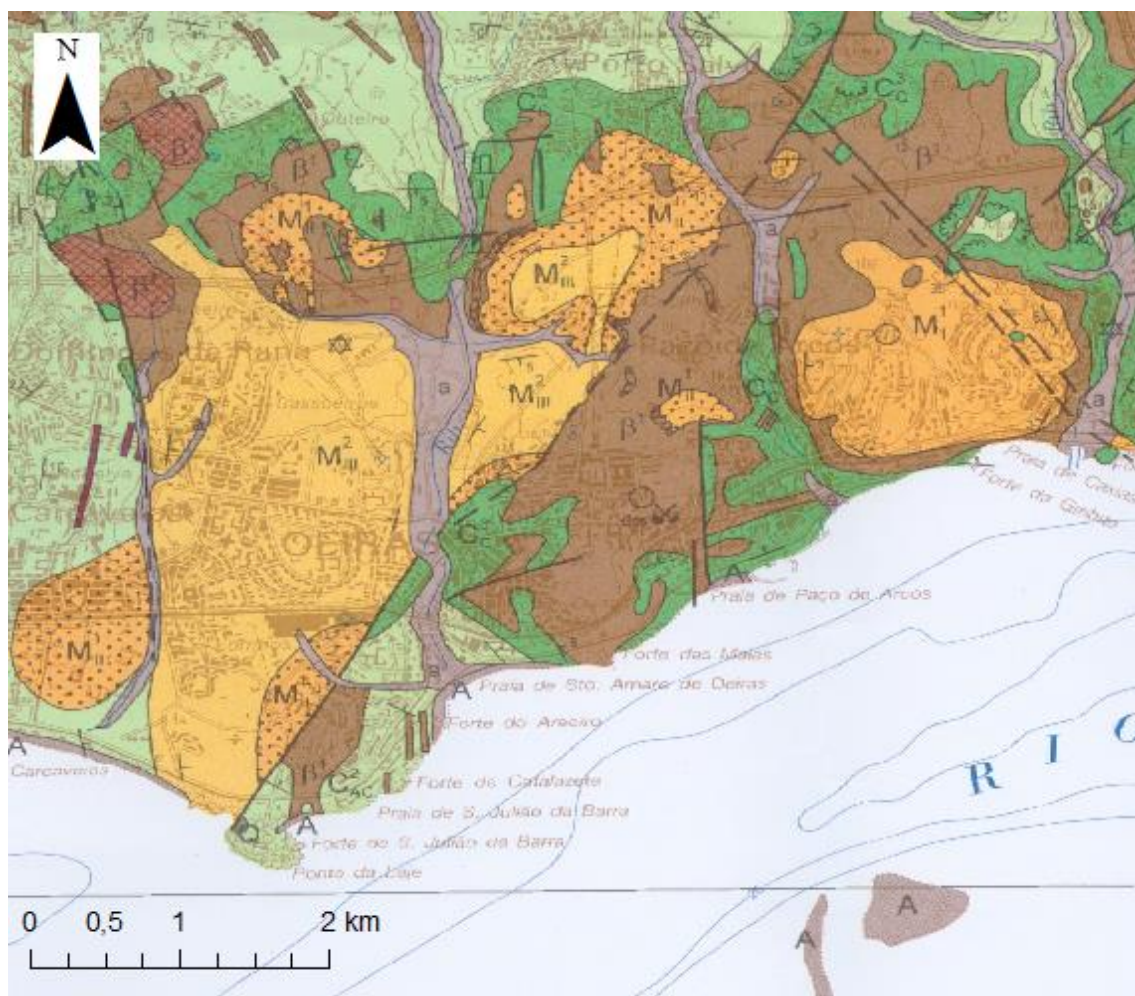
O local de estudo está inserido na Bacia Lusitânica (na Orla Mesocenozóica Ocidental) e nele afloram unidades litológicas do Jurássico superior e Cretácico inferior (Figura II. 2). A formação desta bacia iniciou-se no Triássico Superior, há cerca de 220 a 230 Ma (Galopim de Carvalho, 2005), contemporaneamente á abertura do Atlântico N, condicionada por um graben limitado por acidentes tardi-hercínicos alongados segundo a direção NNE-SSW. Esta bacia foi preenchida essencialmente por rochas sedimentares de origem detrítica e por carbonatos e calciturbiditos, que registam a evolução do ambiente sedimentar, em regimes climático e de profundidade variáveis no tempo.

A cartografia geológica, tanto da praia de Santo Amaro de Oeiras como da praia de Paço d'Arcos, é abrangida pela folha 34-C Cascais da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50 000, editada em 2001 pelo Instituto Geológico e Mineiro de Portugal (SGP, 2001).

No que diz respeito à praia de Santo Amaro de Oeiras, verifica-se que, em praticamente toda a sua extensão lateral, esta se encontra sobre afloramentos cretácicos da formação de 'Calcários e Margas do Belasiano' (C^2_{AC}). A Este da praia, afloram no topo da arriba os 'Calcários com Rudistas e camadas com *Neolobites vibrayanus*' (C^3_c) e ainda rochas pertencentes ao 'Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL)' (β^1).

A Praia de Paço d'Arcos assenta sobre duas formações litoestratigráficas: o Complexo Vulcânico de Lisboa e os Calcários com Rudistas e Camadas com *Neolobites vibrayanus*, datando estas formações do Senoniano até ao Cenomaniano Superior.

As rochas mais antigas representadas no sector costeiro em estudo são os calcários e margas do "Belasiano" - C^2_{AC} - datados do Albiano – Cenomaniano inferior e médio. Às camadas do "Belasiano" sucedem-se os níveis do Cenomaniano superior – C^3_c - constituídos por calcários recifais com Rudistas. O CVL, instalado entre o Cretácico superior e o Eocénico inferior, é composto essencialmente por escoadas de basaltos, em que frequentemente se intercalam níveis piroclásticos. Pode incluir ainda outro tipo de estruturas, como chaminés vulcânicas e filões, não sendo estes observáveis na área em estudo. Nas praias de Paço d'Arcos e Santo Amaro de Oeiras, os afloramentos do CVL restringem-se a escoadas basálticas.



a	Aluviões
Q	Areias e cascalheiras de praias antigas
M ² _{III}	"Calcários de Entrecampos"
M ¹ _{II}	"Areolas da Estefânea"
C ³ _C	Calcários com Rudistas e "Camadas com <i>Neolobites vibrayeanus</i> "
C ² _{AC}	Calcários e Margas "Belasiano"

Figura II. 2 - Enquadramento geológico das praias de Santo Amaro e Paço d'Arcos (extracto da Carta Geológica de Cascais, 34-C, escala 1:50000).

II.2.2 - Enquadramento Geomorfológico

O Concelho de Oeiras inclui duas unidades morfo-estruturais principais, sendo elas o Complexo Anelar Subvulcânico de Sintra e a Região Tabular de Lisboa onde se localizam as duas praias aqui estudadas. O conjunto está recortado por sistemas de falhas e filões que estão geneticamente associados (Ramalho *et al.*, 2001).

A deformação do encaixante provocada pela intrusão que originou o Maciço de Sintra é considerável, tendo sido originado um *“doma com o flanco N invertido, rodeado por um sinclinal anelar, muito bem definido a Sul e a Leste e menos nítido a Norte”* (Ramalho *et al.*, 2001).

A deformação contemporânea da intrusão do maciço de Sintra perde expressão na região em estudo, devido à distância que a separa daquele maciço. A região tabular de Lisboa corresponde a um monoclinal com inclinações muito suaves para E, divergindo do maciço de Sintra, acidentado por algumas ondulações de 2ª ordem também muito suaves. Aquela estrutura é recortada por um sistema de falhas muito inclinadas de direção NW-SE e NE-SW, algumas das quais exploradas por intrusões filoneanas.

Do ponto de vista geomorfológico, a superfície topográfica do concelho de Oeiras caracteriza-se por um ondulado suave de baixas altitudes. A amplitude altimétrica varia entre 0m (nível médio do mar – NMM), na extensa frente ribeirinha, com cerca de 10km de comprimento, e 197m, na Serra de Carnaxide.

A superfície topográfica é constituída por uma rede de interflúvios com orientação preferencial N-S, separados por cursos de água principais/ribeiras, definindo vales encaixados a favor dos acidentes tectónicos, e de traçado sinuoso, em particular na parte N do concelho, onde se encaixam nas fracturas que afectam o Complexo Vulcânico de Lisboa.

Nos troços das linhas de água junto à respetiva foz, os vales são mais abertos dando lugar a terrenos aluvionares relativamente extensos, com cotas próximas do NMM.

Os planaltos, com declive inferior a 15%, são as formas de relevo mais características da rede de interflúvios. As áreas de relevo mais vigoroso localizam-se a N e NE do concelho, estando associadas às formações geológicas do Cretácico, e foram originadas pela instalação do complexo vulcânico de Lisboa.

Geomorfologia da faixa costeira

A praia de Santo Amaro desenvolve-se numa pequena enseada talhada numa arriba baixa definida em rochas de idade cretácica, apresentando um comprimento máximo de 800m. Os seus limites estão definidos, a E e a W por dois esporões, e a N pelo passeio marítimo.

A W da foz da ribeira da Lage encontra-se uma plataforma rochosa que morre de encontro à arriba, e que, nos meses de verão, poderá ser coberta por sedimentos arenosos mais finos, contrastando com os meses de inverno em que se encontra revestida por seixos.

A praia de Paço d'Arcos desenvolve-se, também ela, numa enseada relativamente mais pequena, talhada numa arriba baixa definida em rochas de idade cretácica, e apresenta um comprimento máximo de 200m.

No seu extremo W a praia é limitada por um troço de arriba baixa e a E, pelo molhe (curvo) da doca da Direção Geral de Faróis.

Nos meses de Verão a praia é essencialmente constituída por sedimentos arenosos finos podendo apresentar, nos meses de inverno, sedimentos arenosos de maiores dimensões ou até alguns seixos.

A Ribeira da Lage

Com a finalidade de caracterizar o potencial da ribeira da Lage como fonte sedimentar para a Praia de Santo Amaro, foi feita uma análise da geologia da sua bacia hidrográfica, identificando e descrevendo-se a seguir as principais unidades litostratigráficas com maior potencial de contribuição sedimentar. A descrição que se segue baseia-se nos trabalhos de Ramalho *et al.* (1981), Ramalho e Rey (1969), Serralheiro (1978), Kullberg (1985), SGP (1993) e SGP (2001).

A bacia hidrográfica da ribeira da Lage desenvolve-se para N da praia de Santo Amaro, e está compreendida nos concelhos de Oeiras e Sintra.

A sua geologia encontra-se representada nas folhas 34-A (Sintra) e 34-C (Cascais) da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50000 (Figura II. 3 e Tabela II.1).

Quanto às suas dimensões, a bacia apresenta uma área de aproximadamente 37km², um perímetro de 42km sendo o comprimento da linha de água principal de 17km.

As unidades litostratigráficas presentes na bacia e respetivas áreas (calculadas em ambiente ArcGis) encontram-se representadas na Tabela II. 1.

De entre as unidades litoestratigráficas compiladas na Tabela II. 1, devido às suas características composicionais e texturais, descritas na bibliografia e observadas no campo, apenas algumas apresentam potencial para contribuir com sedimentos para a praia de Santo Amaro, destacando-se as seguintes:

Cretácico Inferior

C¹_v – Calcários, margas e arenitos: os termos areníticos correspondem a arenitos finos, de fácies continental, brancos, caulíníticos, dispostos em lenticulas com estratificação entrecruzada organizados em sequências positivas, associados a leitos de argilas.

C¹_{BA} – Arenitos, argilas e dolomias (“Grés inferiores”): Esta formação atinge uma espessura máxima de 20m, e é constituída por arenitos finos micáceos, amarelos e violáceos, alternados com margas cinzentas.

C¹_{AS} – Arenitos e argilas (“Grés superiores”): Esta formação, detrítica, não ultrapassa os 40m de espessura, e é constituída por três membros distintos:

- Argilas, arenitos e lenhitos inferiores (3 a 8m): corresponde a uma alternância de arenitos finos, amarelos ou acinzentados, com siltes ou argilas.
- Arenitos e argilas superiores (10 a 15m), arenitos grosseiros e conglomerados com seixos de quartzo.

- Arenitos e argilas superiores (20 a 30m) – de Belas a Sintra predominam as intercalações de arenito grosseiro.

Oligocénico

φ – Complexo de Benfica: Este complexo é constituído por arenitos e conglomerados com cimento argiloso que afloram em diversas manchas dispostas aproximadamente ENE-WSW.

Nesta região, esta unidade é constituída por níveis de calcários brancos que assentam sobre margas arenosas, rosadas e avermelhadas, com níveis de calcário apinhado. Sobre este conjunto surgem areias com abundantes clastos de rochas cretácicas.

Miocénico

M¹_{II} – “Areolas da Estefânia”: Esta unidade litoestratigráfica aflora a N de Oeiras e apresenta uma espessura máxima de 15m. É constituída por uma camada de seixos envoltos por areias mais ou menos argilosas, contendo, na parte superior, um segundo nível de seixos de dimensões inferiores aos da base.

Quaternário

a – Aluviões: As aluviões são essencialmente constituídas por alternância de lodos, areias, seixos e calhaus, provenientes das formações detríticas envolventes (com predominância de areias).

Ao comparar a área total da bacia com a área das unidades que potencialmente produzem areia, verifica-se que estas apenas representam cerca de 15% da área total.

Assim, podemos inferir que o potencial da ribeira da Lage como fonte sedimentar para a Praia de Santo Amaro é relativamente baixo.

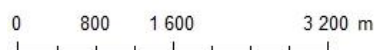
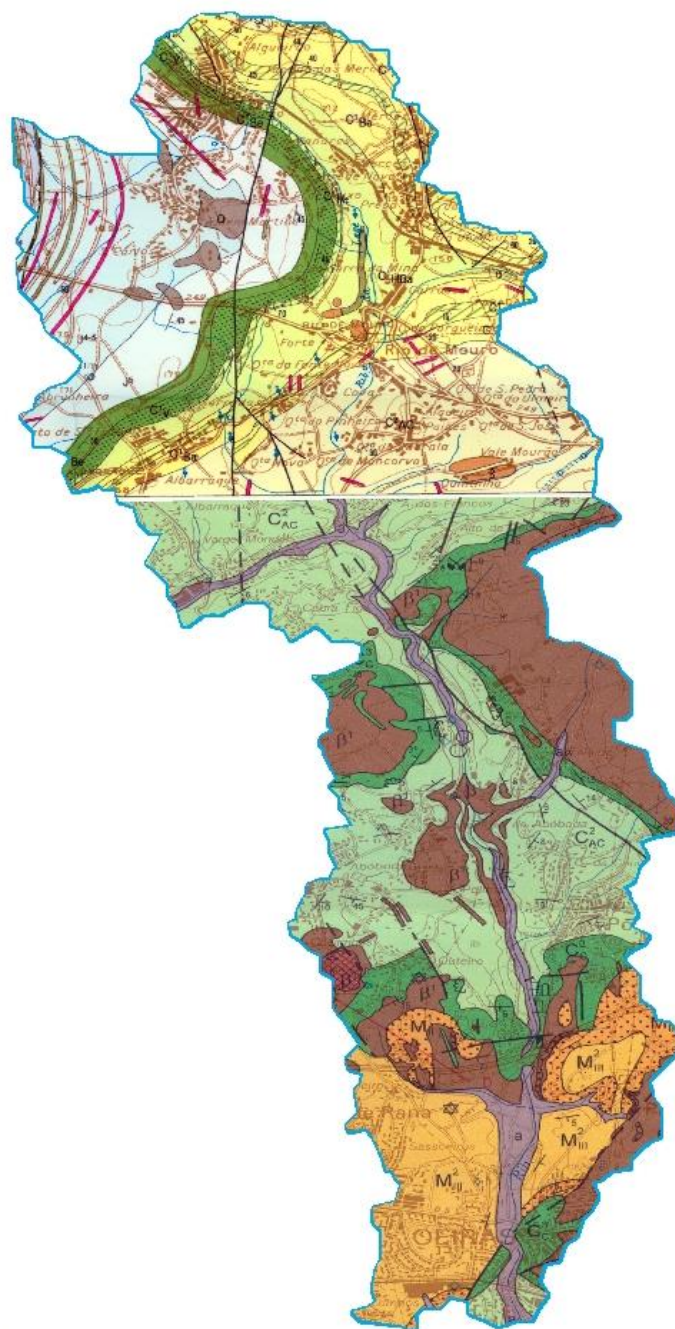
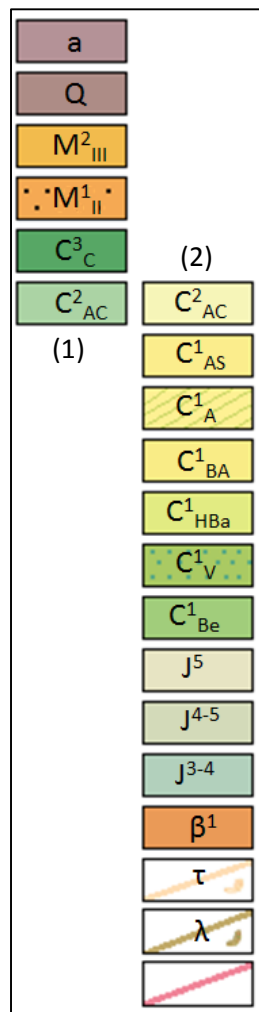


Figura II. 3 - Geologia da bacia hidrográfica da Ribeira da Lage representada nas folhas 34-A (Sintra)(2) e 34-C (Cascais)(1) da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50000.

A Tabela II.1 contém e desenvolve uma legenda litoestratigrafica.

Tabela II. 1 - Unidades litostratigráficas presentes na bacia hidrográfica da Ribeira da Lage e respectivas áreas (calculadas em ambiente ArcGis).

Era	Período	Época	Andar/idade	Unidade Litoestratigráfica	Área (m²)	Área (km²)	%	
Cenozóica	Quaternário	Holocénico		a - aluviões	1305159	1,31	3,5	
		Plistocénico		Q – areias e cascalheiras de praias antigas	269678	0,27	0,7	
	Neogénico	Miocénico	Burdigaliano	M ² _{III} – “Calcários de entre campos”	2926518	2,93	7,8	
			Aquitano	M ¹ _{II} – “Areolas da Estefânia”	970969	0,97	2,6	
Mesozóica	Cretácico	Superior	Cenomaniano Sup.	C ³ _C – Calcários com rudistas e “Camadas com <i>Neolobites vibrayeanus</i> ”	2419453	2,42	6,5	
			Albiano a Cenomaniano Inf./Méd.	C ² _{AC} – Calcários e margas (“Belasiano”)	11692507	11,69	31,3	
		Inferior	Aptiano Sup.	C ¹ _{AS} – Arenitos e argilas	1418852	1,42	3,8	
			Aptiano Inf.	C ¹ _A – Calcários e margas com <i>Paleorbitulina lenticularis</i>	1031755	1,03	2,8	
			Barremiano Sup.	C ¹ _{BA} – Arenitos, argilas e dolomias	1208615	1,21	3,2	
			Hauteriviano-Barremiano Inf.	C ¹ _{Hba} – Calcários recifais e calcários com Chofattelas e dasicladáceas	2421527	2,42	6,5	
			Valanginiano	C ¹ _V – Calcários, margas e arenitos	840910	0,84	2,3	
			Berriasiano	C ¹ _{Be} – Calcários e margas com <i>A. lusitânica</i> , <i>M. Purbeckensis</i> e Trocholinas, incluindo os níveis de “Calcários amarelo-Nanquim”	656415	0,66	1,8	
	Jurássico	Superior	Titoniano	J ⁵ – Calcários nodulares e compactos c/ algumas intercalações margosas (“Calcários nodulares”, “Pteroceriano sup.” e “Freixialiano”	2080465	2,08	5,6	
			Kimeridgiano/Titoniano	J ⁴⁻⁵ – Calcários margosos, margas e calcários c/ corais e oncólitos (“Margo-calcários xistosos”, “calcários corálicos” e “calcários c/ oncólitos”)	2585417	2,59	6,9	
			Oxfordiano Sup./Kimeridgiano Inf.	J ³⁻⁴ – Calcoxisto c/ intercalações margosas e níveis conglomeráticos (“Lusitaniano”, “Xistos do Ramalhão”	99073	0,1	0,3	
	Filões e massas			β ¹ - "Complexo vulcânico de Lisboa" com intercalações vulcano-sedimentares		4961418	4,96	13,3
				T - Traquito e traquiandesito		165840	0,17	0,4
λ - Andesito, labradorito				111145	0,11	0,3		
Filão alterado e/ou não identificado				180974	0,18	0,5		

II.3 - Enquadramento Climático

II.3.1 - Temperatura, precipitação e vento

A localização do Concelho de Oeiras, no extremo SW da península de Lisboa, confere-lhe características de transição entre dois tipos de clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger (IPMA, 2014): clima temperado com verão seco e quente (Csa), com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e o clima temperado com verão seco e temperado (Csb), com temperatura média do mês mais quente é igual ou inferior a 22°C e quatro meses têm temperatura média superior a 10°C.

Ao longo dos últimos 30 anos, verificou-se uma amplitude térmica média da ordem de 10°C, tendo-se registado, como extremos, valores mensais que em alguns anos atingiram -1°C nos meses de dezembro e janeiro, e 42,3 °C nos meses de junho¹.

Relativamente à precipitação média mensal no mesmo período, os valores máximos correspondem aos meses de novembro – em que a precipitação ultrapassou 100mm – e os mínimos correspondem aos meses de verão, em particular julho e agosto, nos quais a precipitação pode ser nula.

A média da precipitação anual dos registos nesse período de 30 anos situa-se nos 55,4 mm.

Quanto ao regime de ventos, verifica-se uma predominância dos ventos de N, nomeadamente de NW, N e NE, bem como da direção SW, com valores mais altos de velocidade média e frequência, maioritariamente registados nos meses de verão.

¹ As normais climatológicas existentes para o Concelho de Oeiras referem-se à estação de Sassoeiros (Lat: 38°42'N, Long: 09°19'W, Alt: 50m), em funcionamento entre 1961 e 1970.

CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DAS MARÉS

Portugal continental apresenta marés semidiurnas, ou seja, verificam-se habitualmente duas preia-mares e duas baixa-mares em cada dia. A altura da preia e baixa-mar varia de praia para praia e de dia para dia, sendo que a amplitude da maré varia entre 1,5m em marés vivas e 0,7m em marés mortas (IH, 2015). No decorrer deste trabalho, as campanhas de campo foram planeadas tendo em conta a previsão da hora e altura das marés em Portugal, disponível para consulta no *website* do Instituto Hidrográfico.

Segundo os dados constantes nas tabelas de maré disponibilizadas no *site* http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html, a altura da maré média anual no porto maregráfico de Cascais é de 2,85m em águas vivas. De acordo com a classificação de Hayes (1975), este tipo de litoral é classificado como mesotidal (amplitude média de águas vivas de 2 a 4m), e mesotidal elevada, segundo a classificação modificada do mesmo autor (Hayes, 1979).

De modo a caracterizar as marés durante o período de monitorização das praias de Santo Amaro e de Paço d'Arcos, foram consultadas as tabelas de maré referentes ao período de Outubro de 2014 a Julho de 2015, e foram estimados os seguintes parâmetros, relativos à maré astronómica:

Preia-mar máxima (PM_{máx.}): Altura da maré astronómica mais alta.

Preia-mar de águas vivas (PMAV): Trata-se do valor médio das alturas de maré em duas preia-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude da maré é maior (próximo das situações de Lua Nova ou de Lua Cheia).

Preia-mar médio (PM_{méd.}): Trata-se do valor médio das alturas da PMAV e PMAM.

Preia-mar de águas mortas (PMAM): Trata-se do valor médio das alturas de maré em duas preia-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude da maré é menor (próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante).

Baixa-mar de águas mortas (BMAM): Trata-se do valor médio das alturas de maré de duas baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude da maré é menor (próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante).

Baixa-mar médio (Bm_{méd.}): Trata-se do valor médio das alturas da BMAV e BMAM.

Baixa-mar de águas vivas (BMAV): Trata-se do valor médio das alturas de maré em duas baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude da maré é maior (próximo das situações de Lua Nova ou de Lua Cheia).

Baixa-mar mínimo (BMmín.): Altura da maré astronómica mais baixa. Altura de água mínima que se prevê que possa ocorrer devido à maré astronómica.

As alturas de água apresentadas na tabela Tabela III. 1 são referentes ao ZH de Cascais, ou seja, 2,08m abaixo do NMM no mesmo porto.

Tabela III. 1 - Parâmetros de maré estimados para o período de monitorização. (Preia-mar máxima (PMmáx.); Preia-mar de águas vivas (PMAV); Preia-mar médio (PMméd.); Preia-mar de águas mortas (PMAM); Baixa-mar de águas mortas (BMAM); Baixa-mar médio (Bmméd.); Baixa-mar de águas vivas (BMAV); Baixa-mar mínimo (BMmín.)).

	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
PMMax	4,00	3,83	3,90	4,03	4,09	4,04	3,88	3,73	3,63	3,81
PMAV	2,80	2,78	2,75	2,72	2,69	2,70	2,67	2,65	2,63	2,66
PMMéd	2,77	2,67	2,66	2,63	2,59	2,57	2,56	2,55	2,56	2,58
PMAM	2,74	2,56	2,57	2,53	2,49	2,44	2,46	2,45	2,49	2,51
BMAM	1,91	2,11	2,06	2,04	1,99	1,97	1,93	1,92	1,91	1,92
BMMéd	1,87	1,98	1,94	1,92	1,88	1,84	1,81	1,83	1,85	1,87
BMAV	1,84	1,85	1,83	1,80	1,76	1,70	1,70	1,74	1,79	1,82
BMMin	0,66	0,82	0,78	0,60	0,47	0,45	0,52	0,66	0,82	0,70

CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE AGITAÇÃO

IV.1 - Agitação ao largo

Para caracterizar o clima de agitação em águas profundas, foi utilizada uma série de dados reconstituídos a partir de cartas sinópticas de vento (Dodet *et al.*, 2010) num ponto ao largo da Figueira de Foz (Figura IV. 1) para o período entre 1 de Janeiro de 1953 e 31 de Março de 2009. Esta série corresponde a um registo contínuo, de 6 em 6 horas, perfazendo um total de 81816 registos de valores de altura significativa (H_s), comprimento de onda (L), período médio (T), rumo ($Dir.$), dispersão direcional ($Spr.$), frequência de pico (f_p), direção de pico (p_{dir}) e dispersão direcional de pico (p_{spr}).



Figura IV. 1 - Localização do ponto utilizado na caracterização do regime de agitação ao largo (coordenadas 40°N, 10°W).

Os principais parâmetros descritores do clima de agitação marítima (H_s , T , $Dir.$) foram calculados daquela série de dados utilizando folhas de cálculo EXCEL e a ferramenta Wave Time Series, do MatLab.

A altura significativa (H_s) ao largo variou entre 0,34m e 13m, sendo o intervalo modal de 1 a 2m, com 52% das ocorrências (Figura IV. 2). O intervalo de 2 a 3m contém cerca de 21,9 % das observações enquanto os valores superiores a 5m representam apenas 2,5 % dos casos. O valor médio anual de H_s é de 2,03m com desvio-padrão de 1,11m.

O valor máximo de Hs, de 13 m, ocorreu a 17 de janeiro de 1973 e o mínimo, de 0,34m, em 22 de julho de 1972.

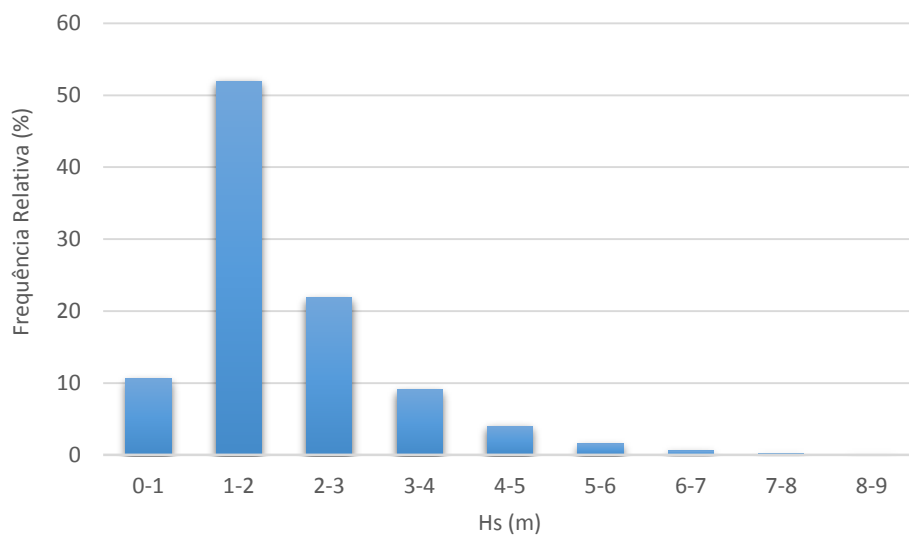


Figura IV. 2 - Distribuição de frequências relativas de altura significativa (Hs).

A variabilidade sazonal deste parâmetro encontra-se representada num gráfico de extremos e quartis apresentado na Figura IV. 3, onde é possível verificar que os valores mínimos mensais são bastante semelhantes entre si. Verifica-se também que os valores mais elevados de Hs registaram-se entre Outubro e Março (Inverno Marítimo) e valores mais baixos entre Abril e Setembro (Verão marítimo).

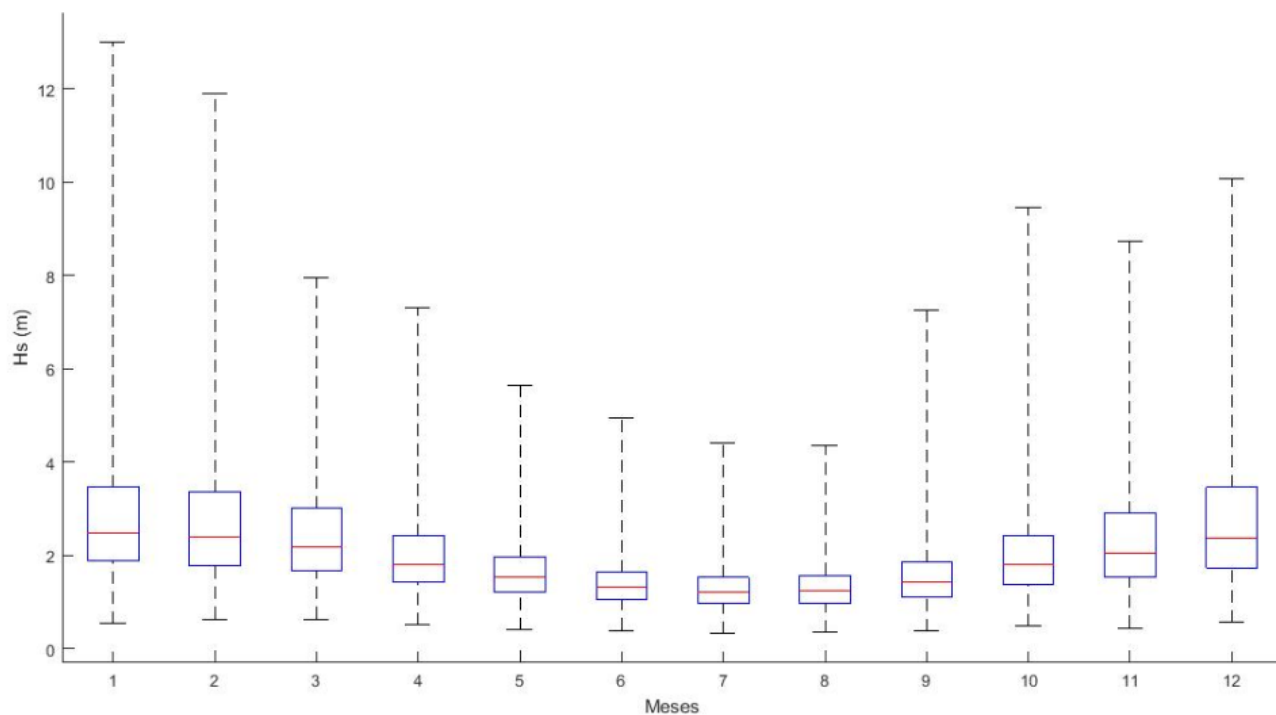


Figura IV. 3 - Variação sazonal de Hs representada em gráficos de extremos e quartis.

No que diz respeito ao período médio das ondas (T) pode-se verificar que as classes mais frequentes são as de 6 a 8s e de 8 a 10s com 34,1% e 31,7% das ocorrências registadas (respetivamente). Os valores de 6 a 12s perfazem 86,1% dos dados observados (Figura IV. 4). O valor médio registado é de 8,7s com desvio-padrão de 2,04s.

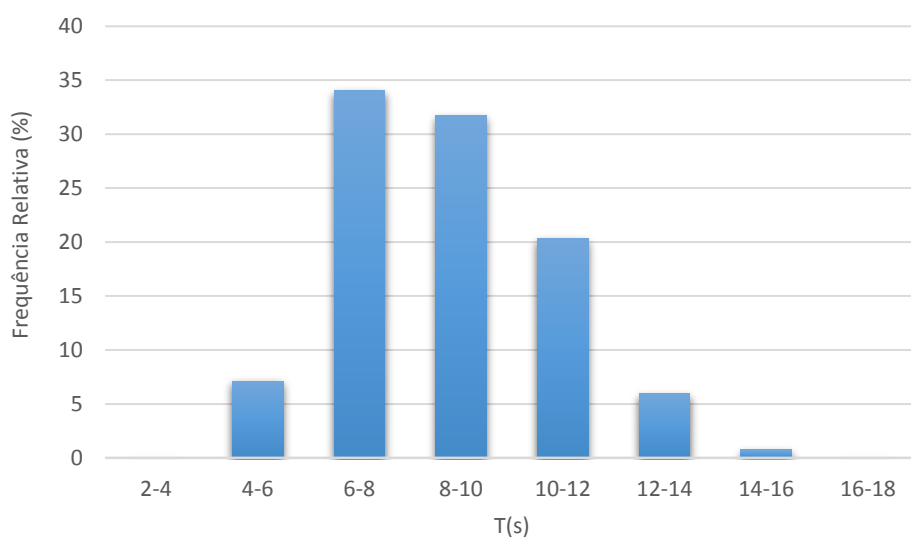


Figura IV. 4 - Distribuição de frequências relativas do período médio (T).

Os valores do rumo das ondas distribuem-se entre 0° e 360° (embora as ocorrências dos octantes NE e SE sejam muito escassas), sendo que os rumos mais frequentes provêm do octante NW com 68,8% das ocorrências, seguindo-se os rumos de W (19,5%) e de N (8,67%). O valor médio da direção de pico de potência é de $308,4^\circ$ (Figura IV. 5). Em todas as classes de rumo predominam as ondas com altura entre 1 e 2m.

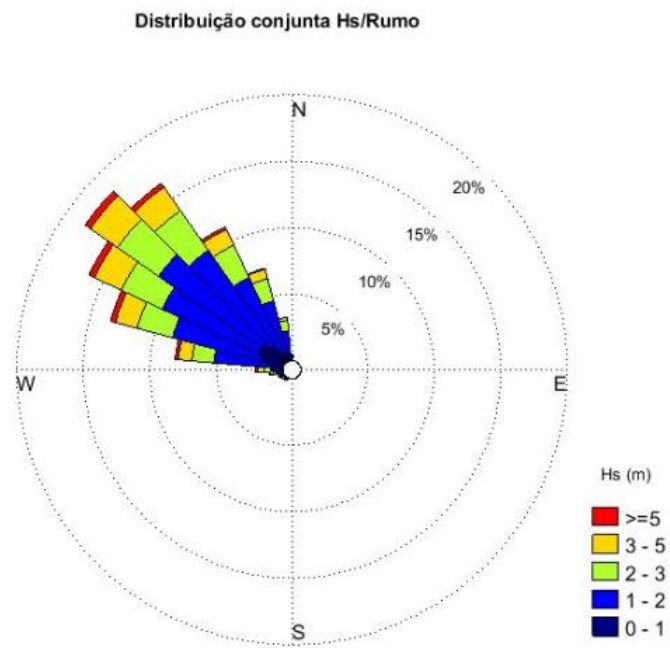


Figura IV. 5 - Distribuição conjunta da altura significativa (Hs) e do rumo (Dir.).

IV.2- Agitação costeira

A propagação das ondas em águas progressivamente menos profundas, rumo a um ponto do litoral, é habitualmente acompanhada de modificação do rumo e de altura, em virtude dos efeitos de interferência com o fundo. Por esta razão, a que acrescem os efeitos de abrigo da costa, o clima de agitação costeiro pode diferir do que caracteriza um ponto no oceano, em águas profundas, mesmo que localizado a curta distância do litoral em estudo.

A caracterização das modificações experimentadas pelas ondas entre o domínio de águas profundas e o domínio costeiro, em cada praia estudada, foi efectuada através da elaboração de matrizes de transferência. Estas matrizes relacionam a agitação marítima ao largo e a agitação num ponto próximo da praia (neste caso, no enfiamento da zona central de cada praia, sobre a batimétrica dos 10m – Figura IV. 6.

Para tal, foi utilizado um modelo numérico de propagação de agitação marítima (SWAN - Simulating Waves Nearshore (Booij *et al*, 1999), versão 40.85), desenvolvido pela *Delft University of Technology* (TUDelft, 2013), que correu sobre uma representação discretizada dos fundos, como se descreve adiante. O modelo é alimentado com dados de ondas (terno ordenado: Hs, período e rumo) no domínio de águas profundas (sobre as fronteiras oceânicas), considerados representativos de um período de 6h, e simula a respectiva propagação até à costa. Os dados de chegada são arquivados e o modelo corre a condição de agitação seguinte até esgotar o intervalo de tempo que se pretende simular. Uma vez concluídas as corridas, dispõe-se de uma série temporal de parâmetros de ondas em cada ponto-alvo da costa, utilizável para descrever o regime ou clima de agitação costeiro. É possível também relacionar estas duas bases de dados sinópticas (a de águas profundas e a costeira) de forma a calcular um “índice de propagação” (razão entre a altura da onda no ponto de chegada e a altura em águas profundas, que descreve os efeitos combinados do abrigo da costa, da refração e do empolamento sobre aquele parâmetro) uma vez conhecidos os valores iniciais de rumo e período. A representação gráfica desta relação constitui uma matriz de transferência.



Figura IV. 6 - Localização dos pontos de simulação utilizados.

Seguidamente são apresentadas as condições para as quais o modelo SWAN foi aplicado no presente estudo:

1) Dados de ondas em águas profundas

Para a elaboração das matrizes de transferência foi utilizada uma série de dados de onda reconstituídas ao largo da Figueira de Foz- coordenadas 40°N, 10°W (Dodet et al., 2010) no período entre 1 de Janeiro de 1953 e 31 de Março de 2009, como referido acima.

2) Batimetria

Foi utilizada uma malha batimétrica com resolução espacial de 30m, resultante da junção das seguintes fontes de dados:

- Dados batimétricos do Instituto Hidrográfico (IH), que cobrem a área de jurisdição da ARH Tejo até cerca de 40km da linha de costa. Apresentam uma resolução espacial de 250m;
- Dados batimétricos da *European Marine Observation and Data Network* (EMODnet), que abrangem a área externa à de jurisdição da ARH Tejo e apresentam uma resolução espacial de 428m;

- Dados topo-batimétricos da Direção Geral do Território (DGT) referentes a uma faixa do litoral com 1km de largura e uma resolução espacial de 2m;

3) Domínio de cálculo

Para a elaboração das matrizes de transferência foram definidas duas malhas computacionais (Tabela IV. 1 e Figura IV. 7).

Tabela IV. 1 - Domínios computacionais utilizados na modelação.

Nome	Resolução espacial	Dimensão
Regional	500m	71km x 53km
Local	250m	27km x 19km

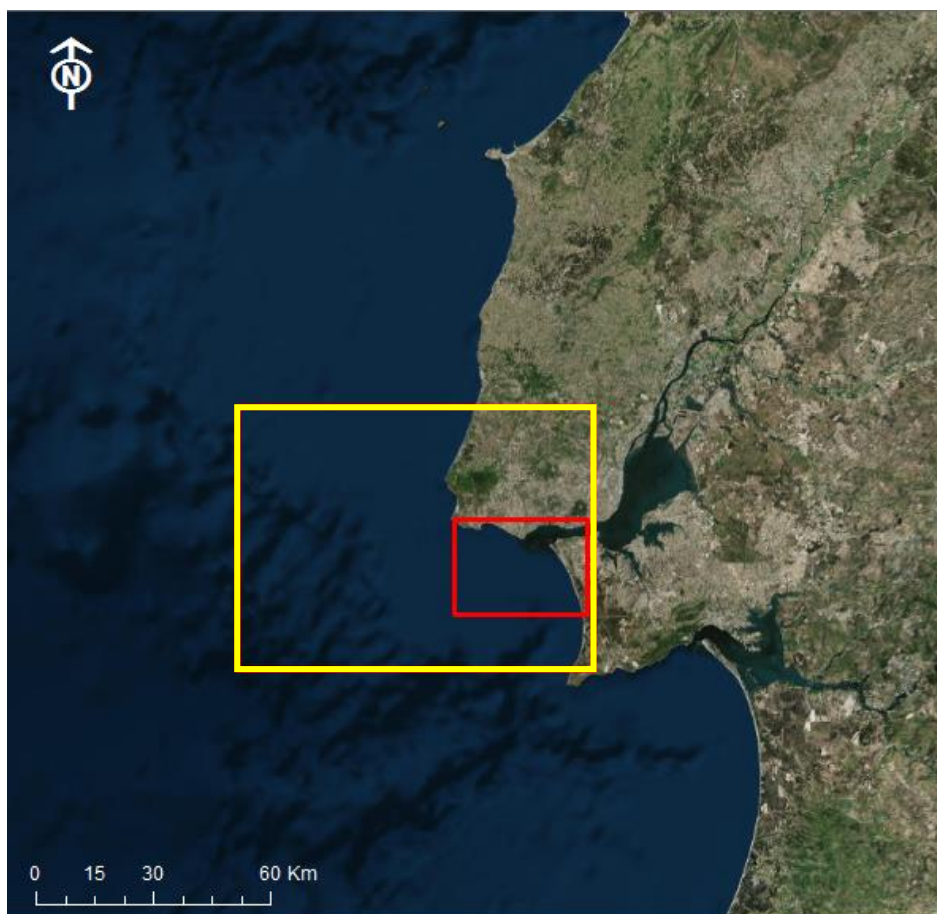


Figura IV. 7 - Domínios computacionais utilizados na modelação. Malha regional (a amarelo) e malha local (a vermelho).

Obtiveram-se assim matrizes de transferência de altura para cada um dos pontos de chegada, como ilustrado nas Figuras IV. 8 e IV. 9.

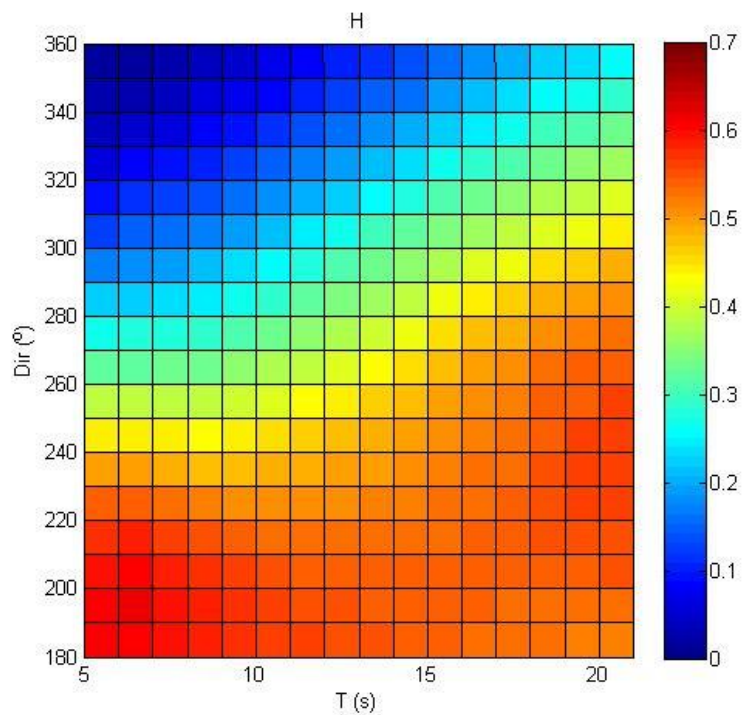


Figura IV. 8 - Matriz de transferência de altura significativa para a praia de Paço de Arcos.

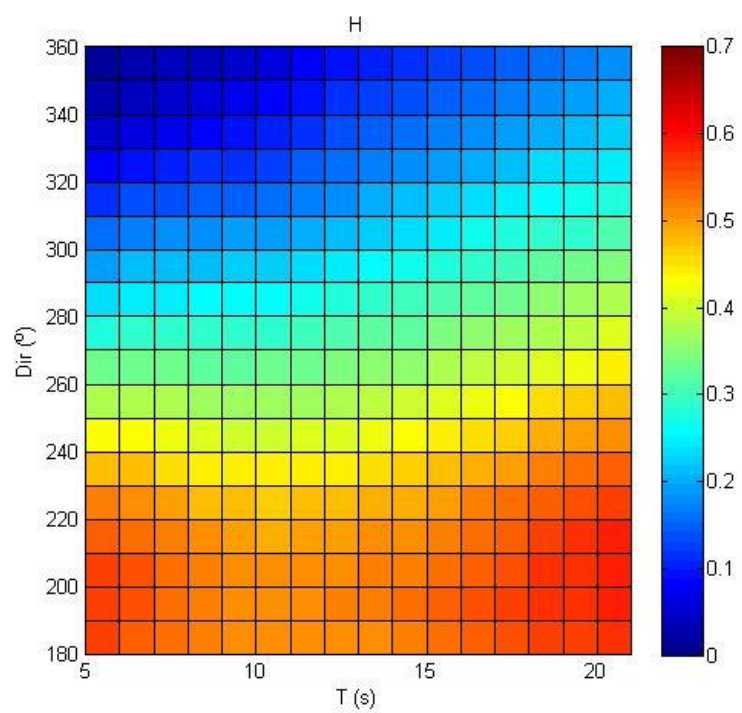


Figura IV. 9 - Matriz de transferência de altura significativa para a praia de Santo Amaro.

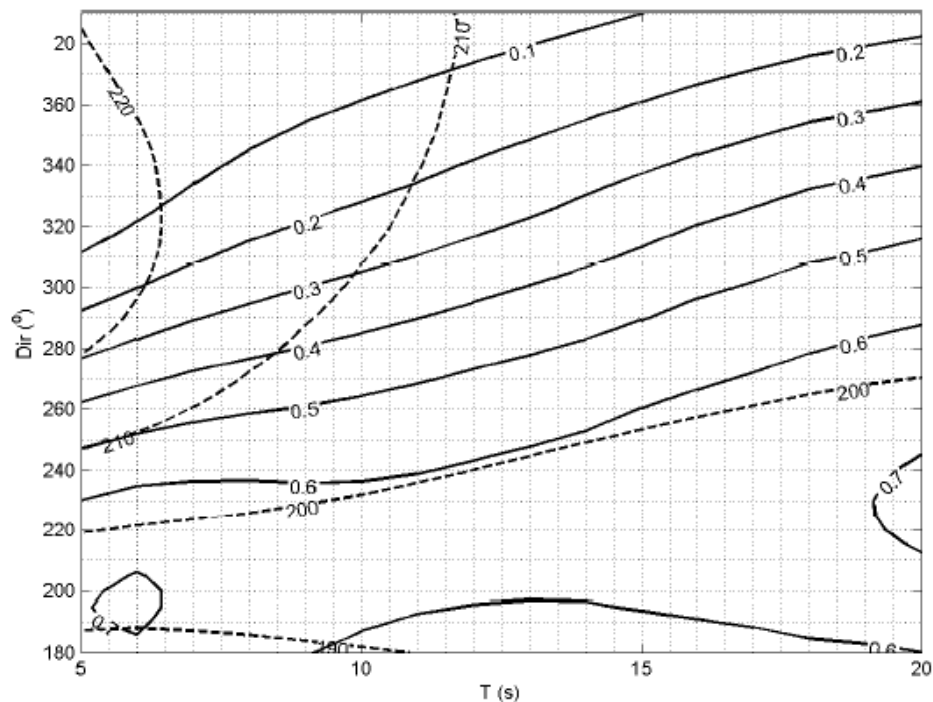


Figura IV. 10 - Matriz de transferência de rumo para o ponto de simulação TM1 em Tamariz: as linhas sólidas representam a razão entre altura significativa local e altura significativa ao largo; as linhas a tracejado representam a direcção de onda local). Taborda et al.(2013).

O rumo modal das ondas em águas profundas é do octante NW.

As matrizes de transferência obtidas para ambos os locais de estudo mostram que a propagação das ondas de NW, é acompanhada de uma perda muito significativa de energia, chegando à área em estudo com altura significativamente menor (10 a 20% da altura que apresentam ao largo). Qualquer que seja o período, todas as ondas com rumos rodados a N de W perdem mais de metade da altura. As ocorrências muito rodadas a N (Dir. >330°) e período inferior a 10s perdem mais de 90% da altura.

Por outro lado, verifica-se que as ondas provenientes de rumos de S-SW, perdem menos energia uma vez que a refração e os efeitos de abrigo são menores. No entanto, mesmo para estas situações, as ondas podem chegar à praia com a altura diminuída para 50% a 40% da altura em águas profundas, para rumos de 230° e 240° e período de 10s a 12s.

A comparação das matrizes obtidas, demonstra que a praia de Paço d'Arcos sofre um maior efeito de abrigo relativamente à praia de Santo Amaro.

Pode-se então concluir que o regime de ondas na zona costeira, tanto na praia de Paço d'Árcos como na praia de Santo Amaro de Oeiras é menos energético do que ao largo, principalmente devido à diminuição da energia das ondas provenientes de NW provocada pela refração e pelos efeitos de abrigo de costa. A título de exemplo, e considerando as condições médias de

agitação em águas profundas ($H_s=2\text{m}$, $T=9\text{s}$ e $\text{rumo}=308^\circ$), verifica-se que os parâmetros equivalentes das ondas costeiras são: $H_s<0,6\text{m}$ e rumo de cerca de 180° .

IV.3 - Caracterização da agitação no período de estudo

IV.3.1 - Agitação ao largo

Os dados de agitação marítima compilados ao longo deste trabalho referem-se ao período de Outubro de 2014 a Junho de 2015, e foram retirados diariamente do *site* do Instituto Hidrográfico (www.hidrografico.pt) e ainda complementados com os dados gentilmente cedidos pela mesma instituição.

Trata-se de observações diárias em águas profundas, obtidas na boia ondógrafo de Leixões a cada 10 minutos, de altura significativa (H_s) (m), altura máxima (H_{max}) (m), período médio (T_z) (s), período máximo (T_{max}) (s), direção (Dir.)($^\circ$) das ondas, e ainda da temperatura superficial da água do mar ($^\circ\text{C}$).

Foram utilizadas ferramentas Matlab para o cálculo dos parâmetros estatísticos principais, tais como H_s médio (m), H_s máxima (m), percentil 97,5, 75, 50 e 25 de H_s (m), período médio (s) e rumo médio ($^\circ$). O mesmo *software* permitiu a elaboração de gráficos representativos das estatísticas mais relevantes.

Os dados representados Figura IV. 11 mostram que, durante o período de monitorização das praias, a altura significativa (H_s) ao largo variou entre 0,58m a 6,84m, sendo os intervalos de 1 a 2m e 3 a 4m aqueles onde se registaram a maior parte das ocorrências (cerca de 25%). O intervalo de 2 a 3m corresponde a cerca de 19% das observações enquanto os valores superiores a 6m representam 0,7% dos casos.

O valor médio anual de H_s obtido por extrapolação destes dados é de 3,03m, com um desvio-padrão de 1,32m.

O valor máximo de H_s , de 6,84m, ocorreu a 24 de Fevereiro de 2015 e o mínimo, de 0,58m, em 10 de Fevereiro de 2015.

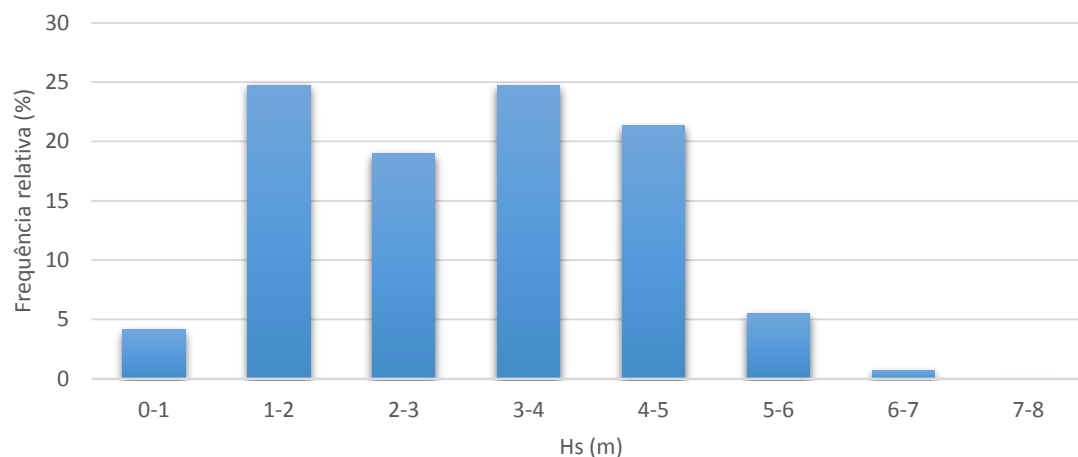


Figura IV. 11 - Distribuição de frequências relativas de altura significativa (H_s).

A variabilidade sazonal deste parâmetro encontra-se representada num gráfico de extremos e quartis apresentado na Figura IV.12, onde é possível verificar que os valores mínimos mensais apresentam-se bastante semelhantes entre si. Relativamente aos valores médios, o valor mais baixo foi registado no mês de Junho (cerca de 1,4m) e o valor mais alto no mês de Janeiro, cerca de 4,1m.

Os valores máximos mensais ocorreram nos meses de Janeiro e de Fevereiro, quando H_s atingiu aproximadamente 6,8m.

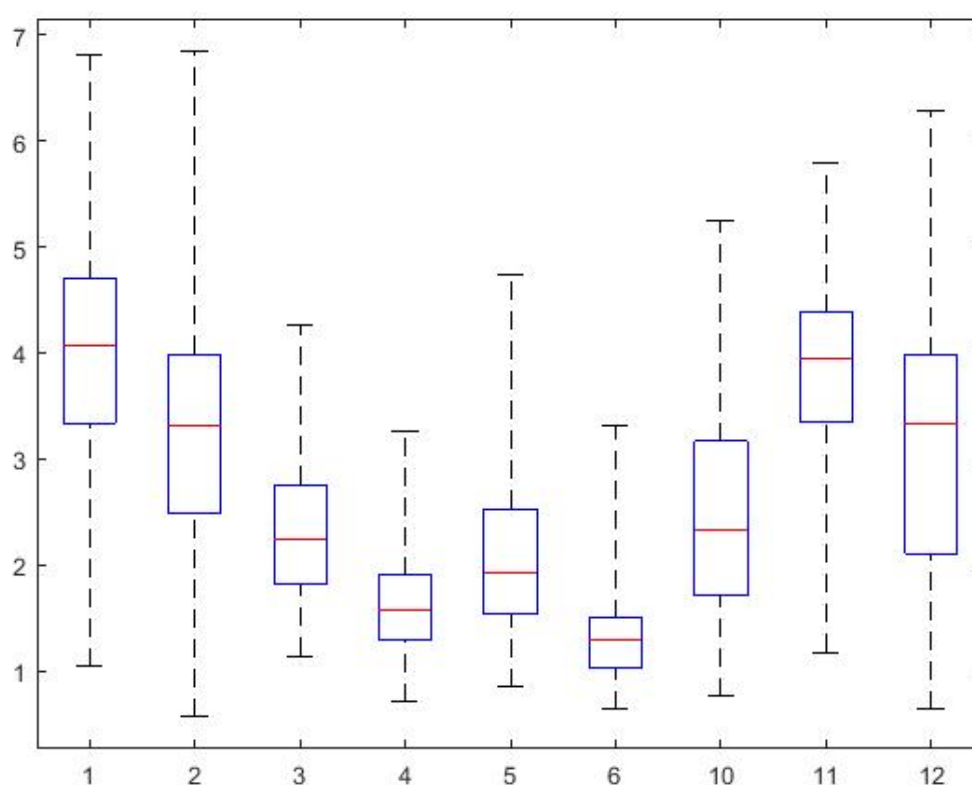


Figura IV. 12 - Variação sazonal de H_s representada num gráfico de extremos e quartis.

A distribuição do período (Figura IV. 13) apresenta máximo na classe 10 - 12s (36,8%) e os maiores valores de período (14 a 20s) correspondem apenas a 7,3% da distribuição.

A média do período durante o período em estudo foi de 10,8s, ligeiramente superior ao registado na série temporal longa, com um desvio-padrão de 2,20s.

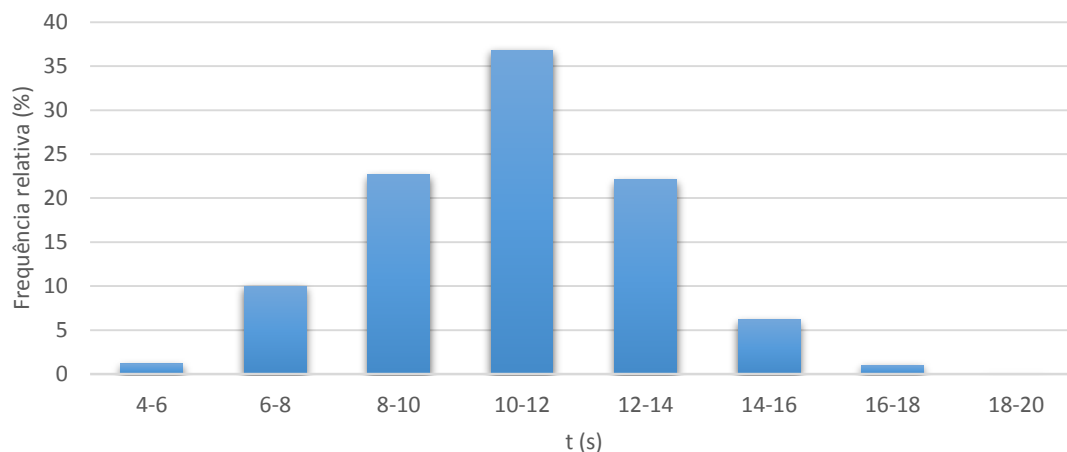


Figura IV. 13 - Distribuição de frequências relativas de período (T).

Durante o mesmo período, pode-se verificar que o rumo da agitação se distribui essencialmente entre N e W (Figura IV. 14), predominando as direções de NW (cerca de 42%), tendo as ondas com altura superior a 5m maior relevância. As direções rodadas a Sul de W foram raras. Em todas as classes de direção predominaram as ondas com 3 a 5m de altura. A direção média da agitação foi de 306,77°. Estes dados são semelhantes aos observados na série temporal longa estudada no capítulo IV.1.1.

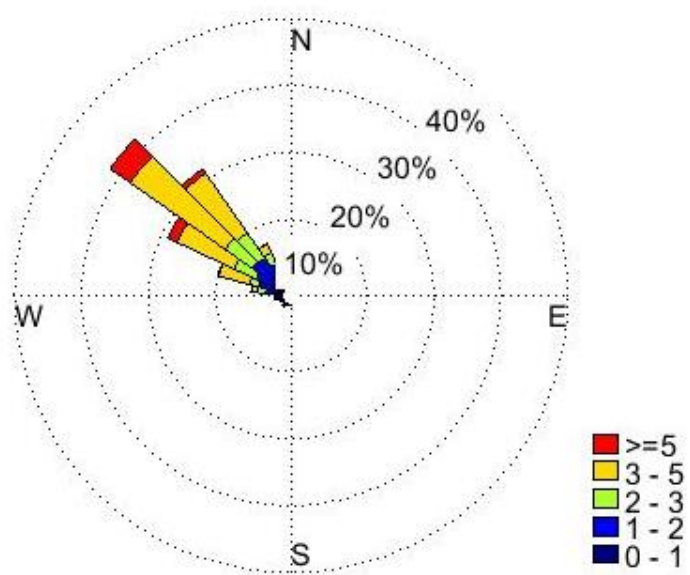


Figura IV. 14 - Distribuição conjunta da altura significativa (H_s) e de rumo (Dir.).

IV.3.2 - Agitação na zona costeira

As condições de agitação marítima no período de Outubro de 2014 a Junho de 2015 foram estimadas para um ponto no enfiamento na zona central de cada praia, sensivelmente na batimétrica dos 10m, através da propagação das condições de agitação marítima medidas na bóia de Leixões, recorrendo novamente ao modelo numérico de geração e previsão de agitação marítima SWAN.

Foi ainda utilizada a ferramenta SwanAuto, versão 2.1, desenvolvida pela equipa de processos costeiros do GeoFCUL que automatiza o processamento associado à análise de séries temporais longas.

As malhas batimétricas e domínios de cálculo considerados são os mesmos que se utilizaram para caracterizar o clima de agitação.

Durante o período de monitorização, a altura significativa (H_s) junto à costa variou dos 0 a 1,54m na praia de Santo Amaro e de 0 a 1,07m na praia de Paço d’Arcos.

Através dos histogramas representados na Figura IV. 15 pode-se verificar que a distribuição de H_s em ambas as praias é muito semelhante, sendo o intervalo de 0,6 a 0,9m aquele onde se registaram mais ocorrências.

Na praia de Paço d’Arcos não foi registada nenhuma ocorrência com altura superior a 1,2m, sendo estas também bastante raras na praia de Santo Amaro (0,77%).

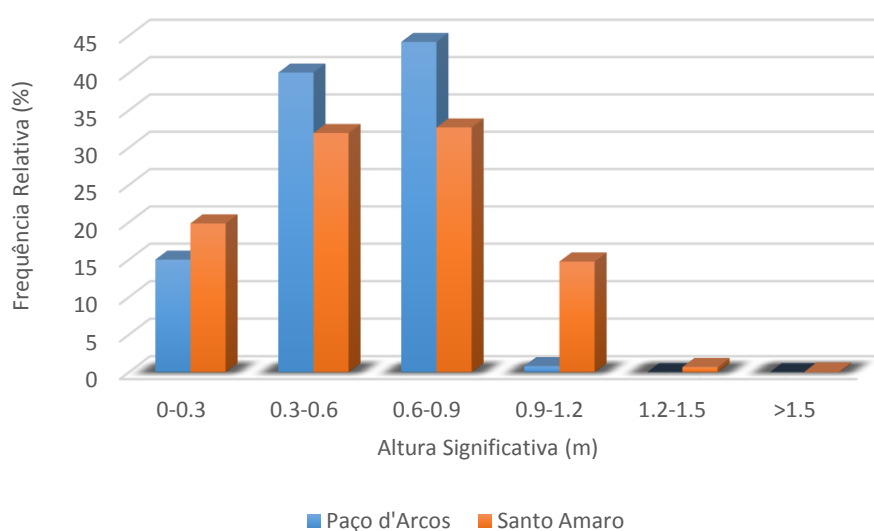


Figura IV. 15 - Distribuição de frequências relativas de altura significativa (H_s) para a praia de Paço de Arcos e de Santo Amaro.

Relativamente ao período, verifica-se também uma distribuição semelhante em ambas as praias.

Em Santo Amaro, a distribuição do período apresenta máximo na classe 10 - 12s (30,82%) e os maiores valores de período (14 a 20s) correspondem a 16,25% da distribuição (Figura IV. 16).

O valor médio do período durante este período é de 11,51s com um desvio-padrão de 0,29s.

Na praia de Paço d'Árcos a classe onde se registaram maior número de ocorrências (31,27%) foi a de 12-14s. Nesta praia, o período médio foi de 11,94s com desvio-padrão de 0,21s.

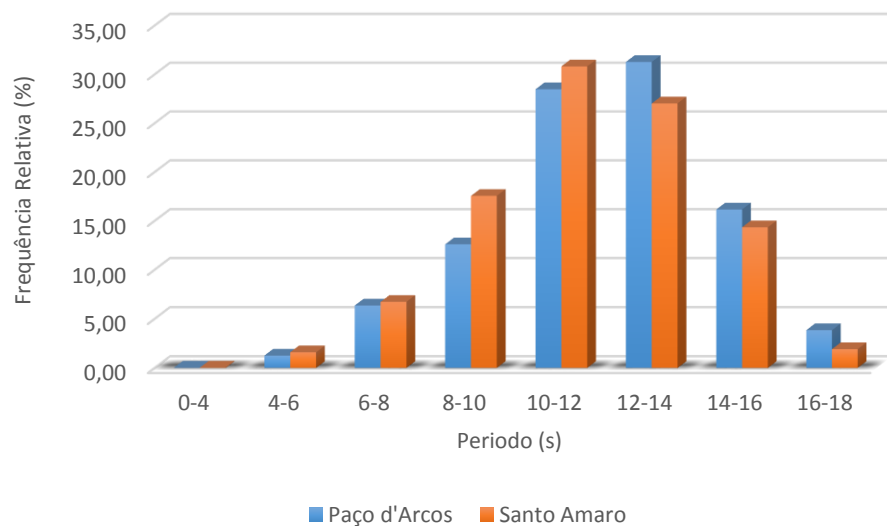


Figura IV. 16 - Distribuição de frequências relativas do período (T).

No que diz respeito à direção da agitação junto à costa, verifica-se que esta é ligeiramente diferente em cada uma das praias. Em Santo Amaro predominam as direções de S (cerca de 68%). Na praia de Paço d'Arcos verifica-se uma predominância das direções de SSE (Figura IV. 17). A direção média da agitação foi de $184,15^\circ$ em Santo Amaro e de $158,61^\circ$ em Paço d'Arcos.

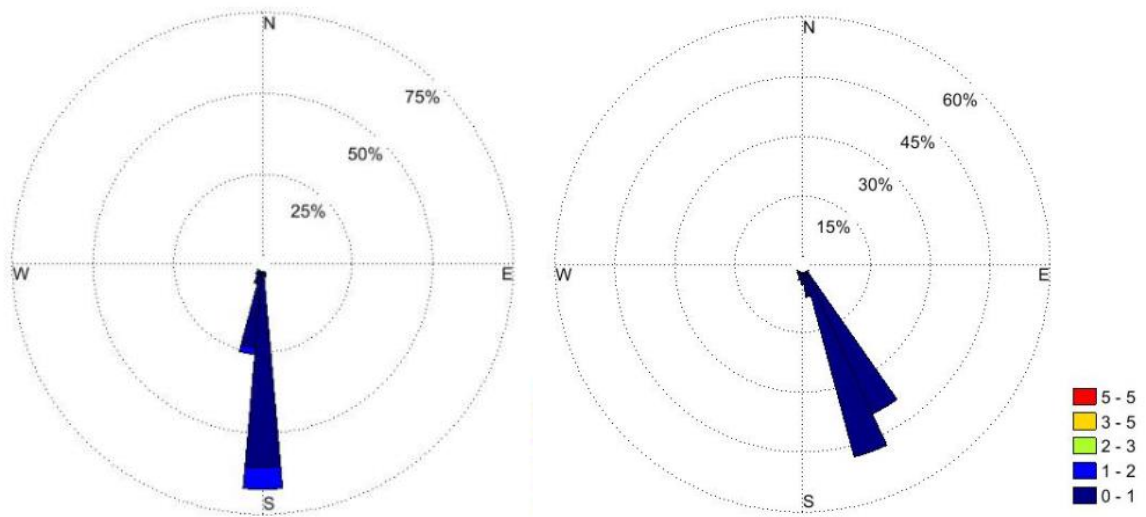


Figura IV. 17 - Distribuição conjunta da altura significativa (H_s) e do rumo em Santo Amaro (à esquerda) e Paço de Arcos (à direita).

CAPÍTULO V - METODOLOGIAS

V.1 - Trabalho de Campo

V.1.1 - Implantação de pontos de referência

De modo a facilitar a realização das campanhas de campo e a recolha de dados topográficos, nomeadamente o levantamento dos perfis transversais, foram estabelecidos 4 pontos de apoio em cada praia correspondendo cada um deles a uma cabeça de perfil (Tabelas V. 1 e V. 2).

A sua localização foi definida tendo em conta os pontos previamente estabelecidos em campanhas anteriores, a facilidade de acesso e de utilização de equipamento topográfico clássico, nomeadamente da estação total.

Os pontos de apoio utilizados neste trabalho foram materializados em campanhas anteriores, de modo a maximizar a sua estabilidade e durabilidade, correspondendo a grampos ou *spits* em aço e/ou a cabeças de pregos.

De todos os pontos foram obtidas coordenadas planimétricas e dados altimétricos, no terreno, utilizando, sempre que possível, um equipamento de DGPS (Differential Global Positioning System) Leica Viva Netrover e uma estação total Zeiss, modelo Elta R55, complementada por dois bastões extensíveis e espelhos-alvo da mesma marca.

As coordenadas são apresentadas no sistema de referência ETRS89/PT-TM06 (*European Terrestrial Reference System* de 1989/ *Portuguese Transverse Mercator Projection* de 2006). A altimetria refere-se, em todos os casos, ao nível médio do mar (NMM) (datum altimétrico de Cascais de 1938).

Tabela V. 1 - Resumo dos elementos relativos aos perfis estudados no campo, na praia de Santo Amaro.

Perfil	Referência	Easting (m)	Northing (m)	Cota (m – NMM)	Rumo (°)
PSA1	SA1	-102628,2265	-108493,9758	4,4053	153
PSA2	SA2	-102475,4532	-108460,833	4,4933	183
PSA3	SA3	-102305,4338	-108472,456	4,598	170
PSA4	SA4	-102096,920	-108441,865	4,4018	178

Tabela V. 2 - Resumo dos elementos relativos aos perfis estudados no campo, na praia de Paço d'Arcos.

Perfil	Referência	Easting (m)	Northing (m)	Cota (m – NMM)	Rumo (°)
PPA1	PA1	-101334,2647	-107909,9331	5,0429	158
PPA2	PA2	-101304,2338	-107888,5583	5,2776	157
PPA3	PA3	-101260,2854	-107869,3361	5,3161	155
PPA4	PA4	-101207,5794	-107847,9684	5,2645	152

V.1.2 - Levantamento de perfis transversais

De modo a estudar a morfodinâmica sazonal de ambas as praias, efetuou-se em cada praia, o levantamento mensal (entre Outubro de 2014 e Julho de 2015) de 4 perfis perpendiculares à orientação geral da linha de costa, aproximadamente equidistantes, de modo a evidenciar as unidades geomorfológicas locais e áreas de interesse especial.

Em ambas as praias os perfis foram referenciados como 1, 2, 3, e 4, de W para E, precedendo o respetivo código da praia (PPA – Paço d’Arcos; PSA – Santo Amaro).

A aquisição de perfis de praia foi feita com um equipamento DGPS em modo RTK, gravando os pontos em modo automático (em movimento, com resolução de 1m) ao longo das linhas de perfil pré-estabelecidas. Os pontos foram medidos entre o limite superior da praia (base da estrutura de defesa costeira) e a elevação de 0m (NMM), em baixa-mar, podendo ser estendidos para além destes limites, em função das condições de mar (garantindo sempre a segurança de pessoas e equipamento). Para além dos perfis transversais levantou-se, ocasionalmente, a crista da berma.

V.1.3 - Levantamentos topográficos integrais

Foram realizados dois levantamentos topográficos integrais em cada uma das praias nas seguintes datas (Tabela V. 3):

Tabela V. 3 - Data dos levantamentos topográficos integrais realizados em cada uma das praias em estudo.

Santo Amaro	Paço d'Árcos
19 de Janeiro de 2015	27 de Janeiro de 2015
26 de Março de 2015	26 de Março de 2015

O procedimento consistiu na execução de perfis de praia (com recurso a GPS-RTK e gravação de pontos em modo automático ao longo de segmentos transversais à linha de costa) paralelos entre si e distando cerca de 30m, cobrindo a extensão total da praia. Como no procedimento adotado para o levantamento dos perfis de praia, o limite em terra foi o limite superior da praia (em ambos os casos, a base da estrutura de defesa), e o limite no mar foi, pelo menos, a elevação de 0m (NMM).

V.1.4 - Colheita de amostras de sedimento

Para caracterizar as areias das praias do ponto de vista sedimentológico (dimensão média e teor em CaCO_3) foram recolhidas amostras de sedimentos superficiais, a meia largura da face de praia e, ocasionalmente, da Berma e da Lomba (Tabela V. 4 e V. 5) (em ambos os casos, também a meia largura).

A colheita foi feita na lâmina mais superficial a fim de preservar a assinatura do último evento deposicional.

Tabela V. 4 - Amostras recolhidas em cada campanha de campo realizada na praia de Paço de Arcos.

Data	PPA1	PPA2	PPA3	PPA4
14-10-2014	FP/L/B	FP/L/B	FP/L/B	FP/L/B
17-12-2014	FP	FP	FP	FP
27-01-2015	FP	FP	FP	FP
17-02-2015	FP	FP	FP	FP
05-03-2015	FP	FP	FP	FP
29-04-2015	FP	FP	FP	FP
22-05-2015	FP	FP	FP	FP
18-06-2015	FP	FP	FP	FP

Tabela V. 5 - Amostras recolhidas em cada campanha de campo realizada na praia de Santo Amaro.

Data	PSA1	PSA2	PSA3	PSA4
22-10-2014	FP/B	FP/B	FP/B	FP/B
10-12-2014	FP	FP	FP	FP
19-01-2015	FP	FP	FP	FP
17-02-2015	FP	FP	FP	FP
05-03-2015	FP	FP	FP	FP
29-04-2015	FP	FP	FP	FP
22-05-2015	FP	FP	FP	FP
18-06-2015	FP	FP	FP	FP

V.2 - Laboratório

No Laboratório de Processos Costeiros do GeoFCUL (PROCOST) procedeu-se à caracterização sedimentológica das amostras recolhidas nas campanhas de campo.

Assim, todas as amostras recolhidas foram submetidas ao mesmo procedimento laboratorial, que consiste nos seguintes passos:

- Lavagem do sedimento com adição de água corrente e decantação, sucessivas, de modo a retirar o sal (cerca de 3 lavagens)
- Secagem das amostras na estufa (100 °C) durante, aproximadamente, 24 horas
- Quarteamento de cada amostra seca reduzindo-a à quantidade necessária para cada ensaio, assegurando a sua representatividade
- Arquivamento em sacos devidamente identificados

V.2.1 - Granulometria

Com o objetivo de classificar as amostras recolhidas no campo quanto à sua dimensão média e outros parâmetros granulométricos, foram realizados ensaios granulométricos, a seco, pelo método da peneiração.

Para tal, utilizou-se uma série de crivos ordenados segundo a escala granulométrica de Wentworth (1922) (-2 ϕ a 4 ϕ a intervalos regulares de $\frac{1}{2}\phi$), que assentam sobre um fundo. Uma vez pesada, lançou-se na coluna uma fracção representativa do sedimento com cerca de 100g, e ligou-se o agitador mecânico.

Após 15 minutos no agitador, os sedimentos retidos em cada peneiro foram retirados e pesados com precisão de +/- 0,01g.

Os dados obtidos foram posteriormente utilizados para o traçado de curvas granulométricas e para o cálculo de parâmetros granulométricos (média, desvio-padrão, índice de assimetria e índice de curtose) pelo método gráfico.

V.2.2 - Calcimetria

Com o objetivo de classificar os sedimentos de praia quanto ao teor em carbonato de cálcio (CaCO_3) foram realizadas calcimetrias pelo método gasométrico, utilizando o calcímetro EIJELKAMP (Figura V. 1). A percentagem de carbonato de cálcio de uma amostra é determinada, neste instrumento, através da medição do volume de dióxido de carbono libertado quando a amostra reage totalmente com ácido clorídrico. Os procedimentos específicos seguiram as normas do fabricante.

Neste trabalho, a classificação do sedimento quanto ao teor em CaCO_3 é a proposta por Baize (1988) (Tabela V. 6).

Tabela V. 6 - Classificação dos sedimentos com base no teor em carbonato de cálcio proposta por Baize (1988).

% CaCO_3	Classificação
<5	Nada ou pouco carbonatado
5 a 15	Pouco carbonatado
15 a 40	Carbonatado
> 40	Muito carbonatado



Figura V. 1 - Calcímetro EIJELKAMP utilizado na determinação do teor em carbonato de cálcio das amostras.

V.3 - Trabalho de Gabinete

V.3.1 - Tratamento dos dados obtidos no campo

O primeiro passo no tratamento dos dados obtidos no campo consistiu na sua importação do DGPS ou estação total e criação de cópias de segurança de modo a salvaguardá-los.

De seguida, utilizando a aplicação *Leica Geo Office*, os dados do DGPS foram convertidos para coordenadas planimétricas e locais, e posteriormente exportados em formato de texto de modo a possibilitar a sua leitura em *Excel*.

No *Excel* os dados são filtrados segundo o seu código, e segundo a sua qualidade planimétrica e altimétrica, tendo-se excluído aqueles com índice de qualidade superior a 0,05m.

Após verificação da qualidade dos dados, procede-se à projeção gráfica dos perfis, ao cálculo do declive da face de praia (determinado entre as cotas de 1 e 2m acima do NMM) e ao cálculo do volume da praia por unidade de comprimento de costa [m^3/m] (calculado entre o limite terrestre da praia e o NMM).

Calculou-se ainda a retenção volumétrica global das praias, multiplicando a retenção volumétrica unitária, determinada em cada um dos quatro perfis, pela respectiva distância de influência e somando as quatro parcelas.

Os dados obtidos nas campanhas em que foram realizados levantamentos topográficos integrais, foram importados para *ArcGis*® v.10 da *ESRI* de modo a serem elaborados modelos digitais de terreno (MDT). Através dos MDTs assim criados foram calculados os volumes totais de sedimento retidos em cada praia, entre a isóbata de 0m (NMM) e o limite terrestre do areal, de modo a confirmar os dados obtidos pelo método anteriormente descrito.

V.3.2 - Tratamento dos dados de laboratório

V.3.2.1 - Granulometria

O processamento de resultados do ensaio laboratorial foi feito com recurso ao programa de computador GRAN GRAF (Carvalho, 1998), que executa o cálculo dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica pelo método gráfico. Neste trabalho, a classificação dimensional foi efetuada de acordo com Wentworth (1922, *in* Friedman e Sanders, 1978). Para a assimetria, curtose e desvio-padrão utilizou-se a classificação de Folk e Ward (1957) (Tabela V. 7).

Tabela V. 7 - Classificação granulométrica de sedimentos essencialmente arenosos com base nos parâmetros estatísticos de Folk e Ward.

Diâmetro médio (M_z) (Wentworth, 1922, <i>in</i> Friedman e Sanders, 1978)		Desvio-padrão (σ) (Folk e Ward, 1957)	
-1 Φ - 0 Φ	Muito Grosseiro	<0,35 Φ	Muito bem calibrado
		0,35 Φ – 0,50 Φ	Bem calibrado
0 Φ - 1 Φ	Grosseiro	0,50 Φ – 0,71 Φ	Moderadamente bem calibrado
		0,71 Φ – 1,00 Φ	Moderadamente calibrado
1 Φ - 2 Φ	Médio	1,00 Φ – 2,00 Φ	Mal calibrado
2 Φ - 3 Φ	Fino	2,00 Φ – 4,00 Φ	Muito mal calibrado
3 Φ - 4 Φ	Muito Fino	>4,00 Φ	Extremamente mal calibrado
Assimetria gráfica (SK_s) (Folk e Ward, 1957)		Curtose gráfica (K_g) (Folk e Ward, 1957)	
-1 a -0,3	Muito negativa	<0,67	Muito platicúrtica
-0,3 a -0,1	Negativa	0,67 – 0,90	Platicúrtica
-0,1 a +0,1	Aproximadamente simétrica	0,90 – 1,11	Mesocúrtica
+0,1 a +0,3	Positiva	1,11 – 1,50	Leptocúrtica
+0,3 a +1	Muito Positiva	1,50 – 3,00	Muito leptocúrtica
		>3,00	Extremamente leptocúrtica

V.3.2.2 - Calcimetria

O pós processamento dos dados obtidos na calcimetria consistiu, primeiramente, no cálculo do teor de CaCO_3 utilizando o *Microsoft Excel*.

O cálculo da percentagem de carbonato no sedimento baseia-se no volume de gás libertado e medido na bureta, tendo em conta o observado no ensaio em branco, no ensaio dos padrões e da amostra em estudo, utilizando a seguinte expressão:

$$\% \text{CaCO}_3 = 100 \times \frac{M2 \times (V1 - V3)}{M1 \times (V2 - V3)}$$

em que,

M1 - massa do sedimento analisado (g)

M2 - média da massa de dois dos padrões utilizados

V1 - Variação de volume de CO_2 observada na bureta do Erlenmeyer contendo o sedimento analisado (ml).

V2 - Média da variação de volume de CO_2 observada nas buretas de dois dos padrões utilizados (ml).

V3 - Média da variação de volume de CO_2 observada nas buretas de dois ensaios em branco (ml)

Elaboração dos livros de campo

Com o objetivo de caracterizar a rede de pontos de referência definidos na praia de Santo Amaro e Paço d'Arcos, foi construído um "livro de campo" referente a cada praia (Anexos 1 e 2).

Este documento, que consiste numa coleção de fichas, tem como principal objetivo servir de apoio à realização de levantamentos topográficos, nomeadamente perfis de praia.

Cada ficha inclui no seu título o nome da praia onde se localiza um ponto de referência, e um código único de identificação. Os outros elementos constituintes da ficha são:

- Fonte dos dados: corresponde ao nome da instituição (GeoFCUL) e, quando possível, dos operadores que estabeleceram o ponto de referência;
- Data em que foi estabelecido;
- Qualidade (planimétrica, altimétrica e de monumentação ou materialização);
- Objetivo do ponto;
- Descrição da localização e características do ponto de referência;
- Coordenadas planimétricas e altimétricas do ponto (em unidades métricas);

Esta informação foi ainda complementada com fotografias do campo envolvente, fotografias do próprio ponto, de modo a facilitar o seu reconhecimento, e com uma Imagem de conjunto orientada, com recurso a ortofotografias, que permite a visualização da localização espacial dos pontos de referência e, quando aplicável, apresenta a(s) linha(s) dos perfis de praia.

CAPÍTULO VI - RESULTADOS

VI.1 - Santo Amaro

VI.1.1 - Morfologia

A Figura VI. 1, representa os perfis obtido entre 22 de Outubro de 2014 e 18 de Junho de 2015 na região poente na praia de Santo Amaro.

O Perfil PSA1, representativo do extremo W da praia de Santo Amaro, apresenta uma geometria convexa, e as variações morfológicas sazonais encontram-se essencialmente centradas na face de praia. A sua variação morfológica relaciona-se com o crescimento ou redução da largura da berma, e o seu declive varia de $3,4^\circ$ (em Dezembro) a $7,12^\circ$ (em Abril) apresentando um valor médio de $5,2^\circ$.

É possível observar a migração e construção de bermas ao longo do período de monitorização, verificando-se um progressivo aumento da largura da berma mais alta, de 40m em Outubro de 2014 para 80m em Abril de 2015. Na campanha de 3 de Maio de 2015, é visível uma barra em processo de anexação à berma, sendo possível ainda observar, nas duas campanhas seguintes, vestígios da sua forma no perfil.

A cota da berma alta (pouco acima dos 4m NMM) mantém-se aproximadamente estável, apresentando pequenas variações da ordem dos centímetros. A berma mais baixa desenvolve-se a cota de 2 a 3,5m (na crista) e apresenta largura muito variável ao longo do tempo.

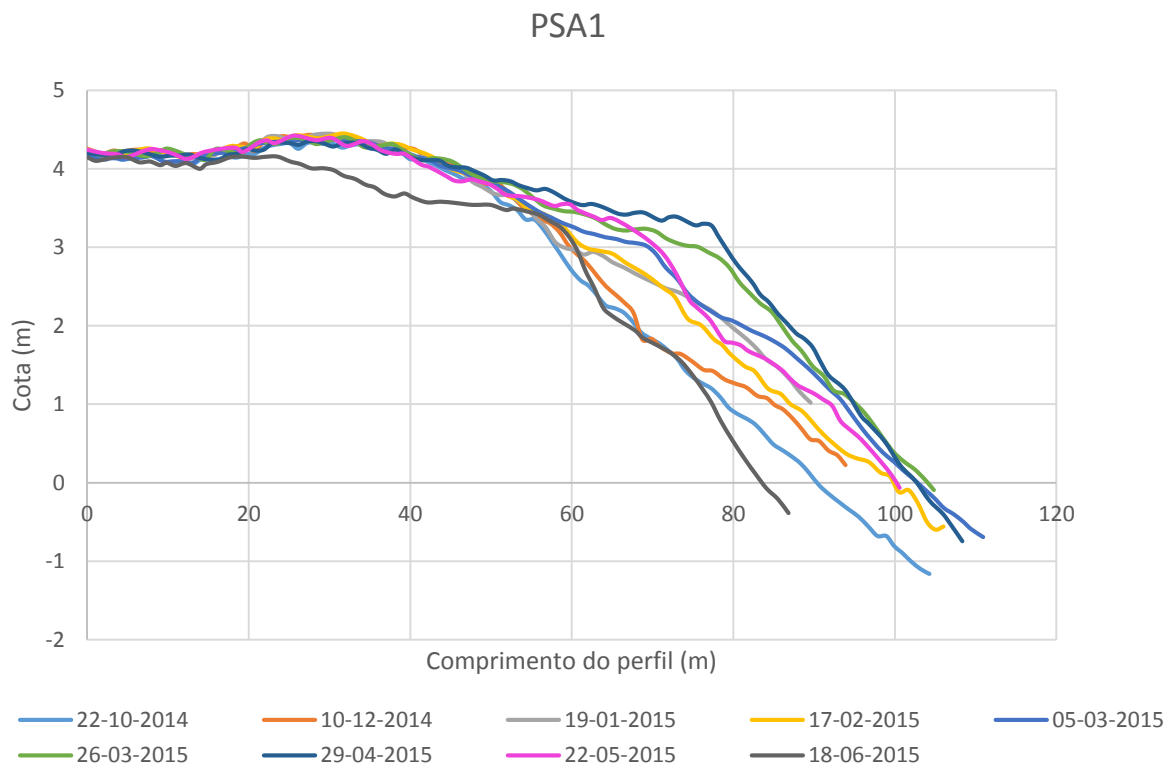


Figura VI. 1 - Variação do perfil PSA1 no decorrer do período de monitorização.

O perfil PSA2 apresenta uma geometria também essencialmente convexa, concentrando-se na face de praia as maiores variações morfológicas sazonais (Figura VI. 2).

De Outubro a Dezembro verifica-se uma elevação da sua superfície em cerca de 1m apresentando, nas restantes campanhas, um comportamento regular de alternância entre erosão e recuperação. Em todas as campanhas constatou-se a presença de uma lomba sobre a face de praia.

Ao longo do período de monitorização, a face de praia apresentou um declive variável de 3°, no início de Março, e 7,4° em Abril, com valor médio de 5,4°. A berma alta manteve elevação razoavelmente constante, escassamente acima dos 4m (NMM), e uma largura de aproximadamente 25m. A berma mais baixa é mais variável em cota (2,25 a 2,5m – NMM) e também em largura.

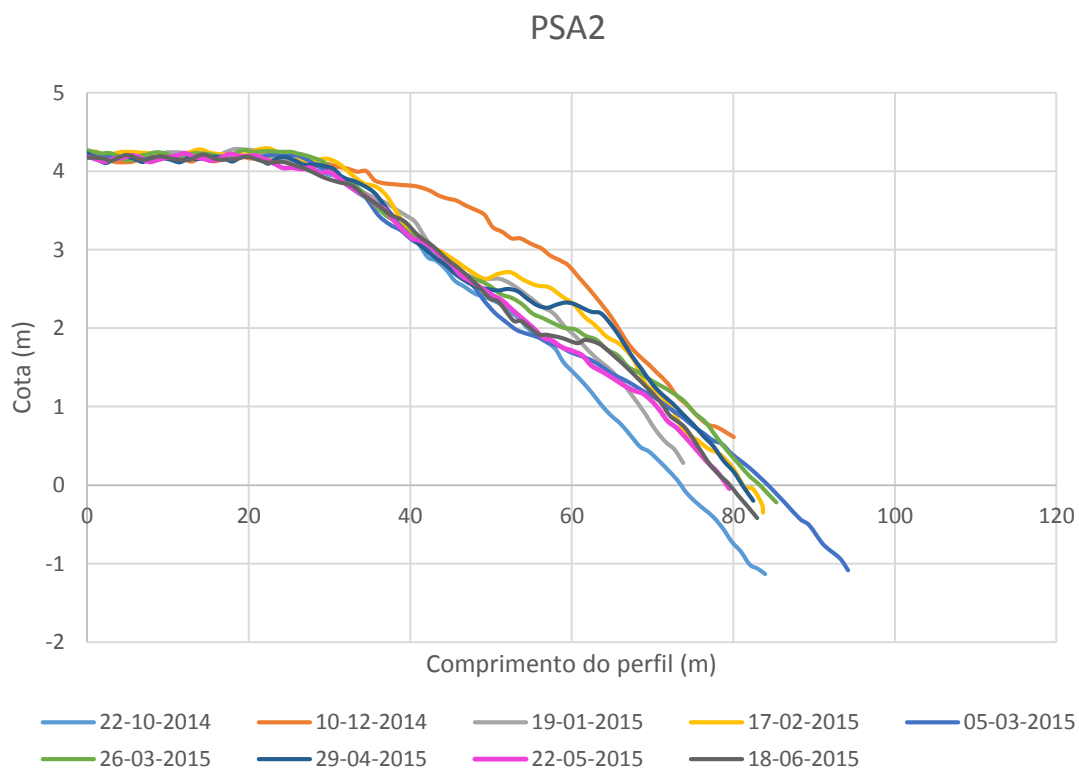


Figura VI. 2 - Variação do perfil PSA2 no decorrer do período de monitorização.

O perfil PSA3 (Figura VI. 3) apresenta uma geometria aproximadamente linear. Não existe uma berma a aproximadamente 4m (NMM) como em PSA1 e PSA2. O crescimento e migração de uma berma a cotas 1,8 a 2,8m encontra-se bem evidenciado nos perfis levantados em todas as campanhas realizadas. Verifica-se aumento da sua largura entre Outubro e Dezembro (de 11 para 22m), diminuição significativa de Dezembro a Janeiro (22 para 9 m), e uma diminuição progressiva até ao final do período de monitorização (atingindo a largura mínima de 4m).

Nas campanhas decorridas entre Outubro e Abril, constatou-se sempre a presença de uma escarpa limitando a berma (com ressalto de ordem tipicamente decimétrica, atingindo no máximo 1m).

Relativamente à baixa-praia, apenas se verificou a existência de uma barra de espalho e de um canal, no sopé da face de praia, na campanha realizada no final do mês de Março.

Ao longo do período de monitorização, a face de praia apresentou um declive variável de 4°, em Fevereiro, a 7,3° em Abril, e valor médio de 5,3°.

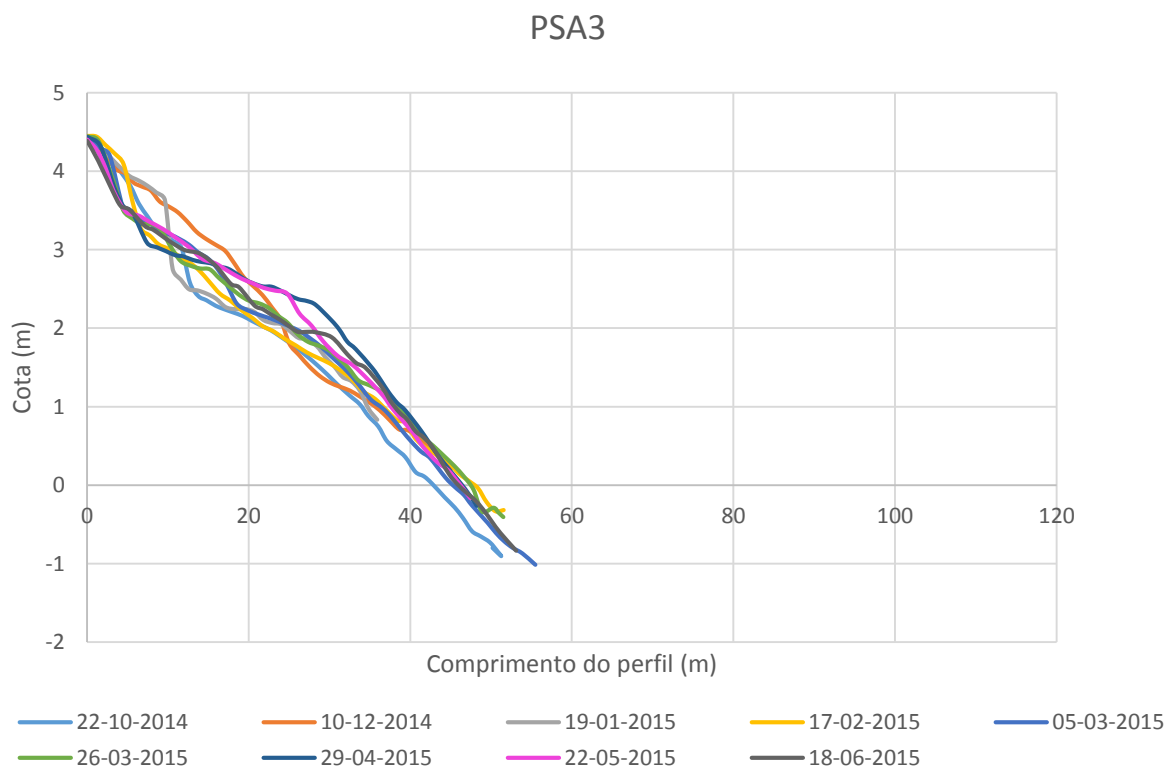


Figura VI. 3 - Variação do perfil PSA3 no decorrer do período de monitorização.

No perfil PSA4 (Figura VI. 4), representativo do extremo E da praia de Santo Amaro, as variações morfológicas sazonais ocorrem essencialmente na berma. Na campanha realizada em Outubro é possível verificar a presença de uma lomba em processo de migração e posterior soldadura à berma. De Dezembro a Abril verifica-se um recuo progressivo da berma, com diminuição da sua largura de 30 para 10m, mantendo-se a cota aproximadamente constante (variações centimétricas), a 4,3m.

Nas campanhas posteriores a Dezembro, verifica-se também a ocorrência de uma escarpa de dimensão métrica (entre 1 e 2m), na berma, que perde expressão a partir de Maio.

Os valores do declive da face de praia variam entre o mínimo de 4,7° e máximo de 9,2°, apresentando valor médio de 6,7°.

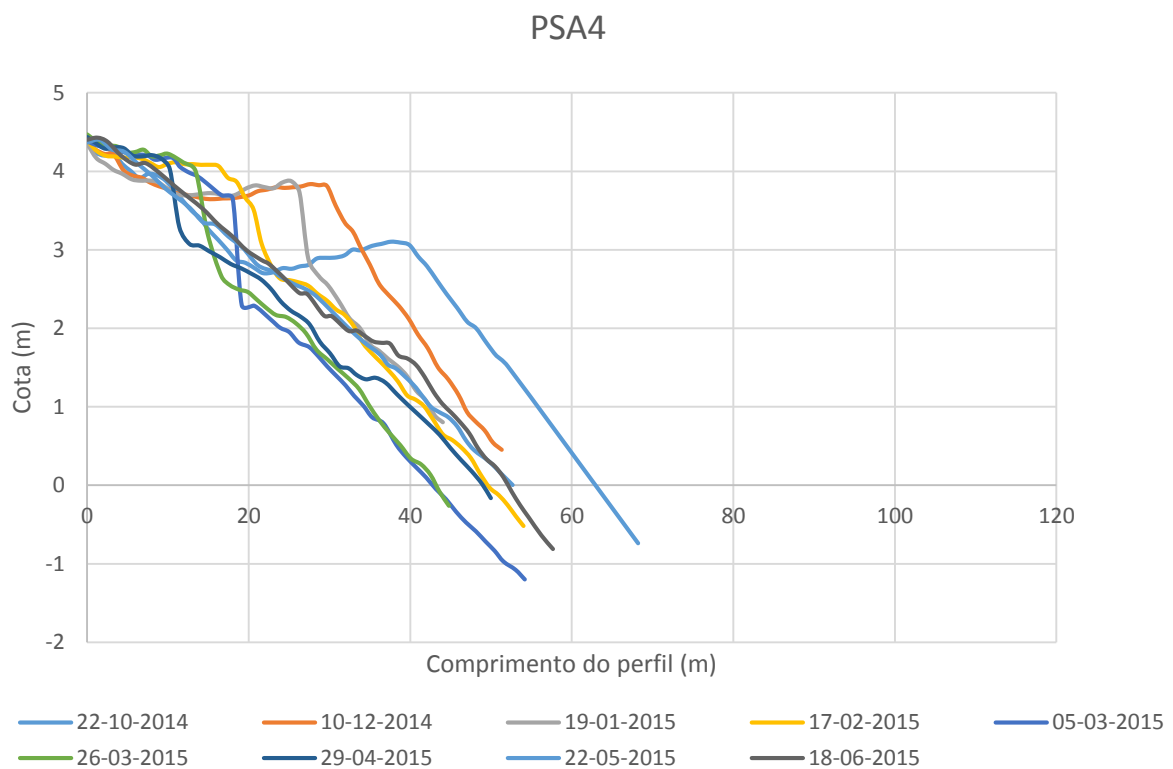


Figura VI. 4 - Variação do perfil PSA4 no decorrer do período de monitorização.

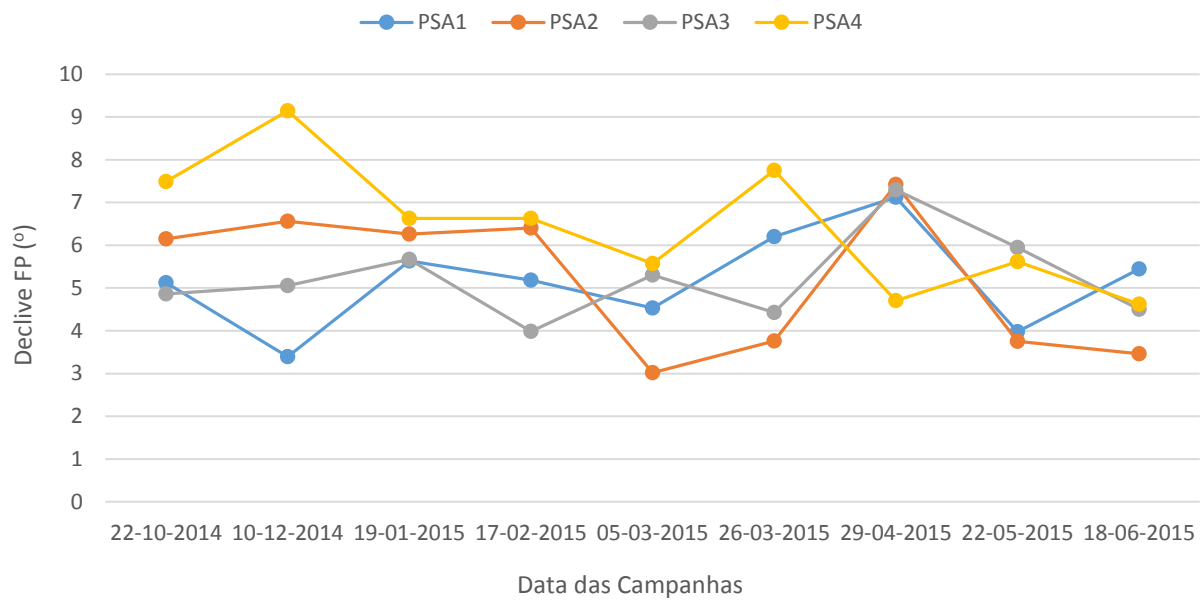


Figura VI. 5 - Variação do declive da face de praia em cada um dos perfis, ao longo das 9 campanhas de campo realizadas.

VI.1.1.1 - Levantamentos topográficos integrais

Observando os MDT's realizados através dos levantamentos topográficos integrais (Figuras VI. 6 e VI. 7), é possível verificar que de Janeiro para Março existiu uma recuperação do *stock* sedimentar em toda a praia, evidenciado pela elevação em cota de todas as suas estruturas (face de praia, berma e terraço de baixa mar).

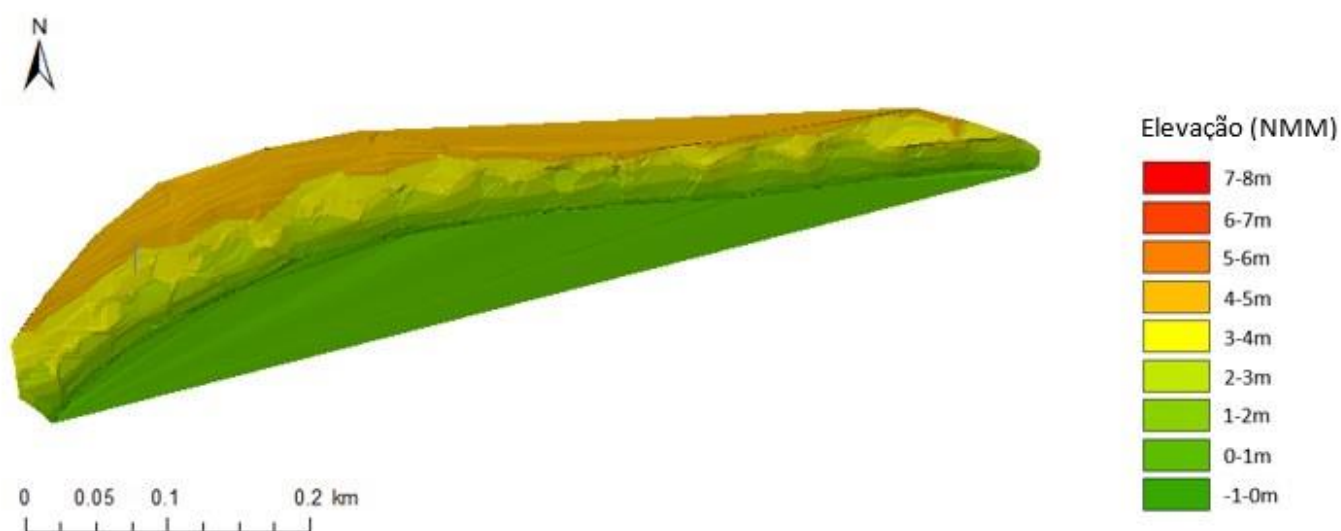


Figura VI. 6 - Modelo Digital de Terreno realizado com o levantamento topográfico integral de dia 19 de Janeiro de 2015.

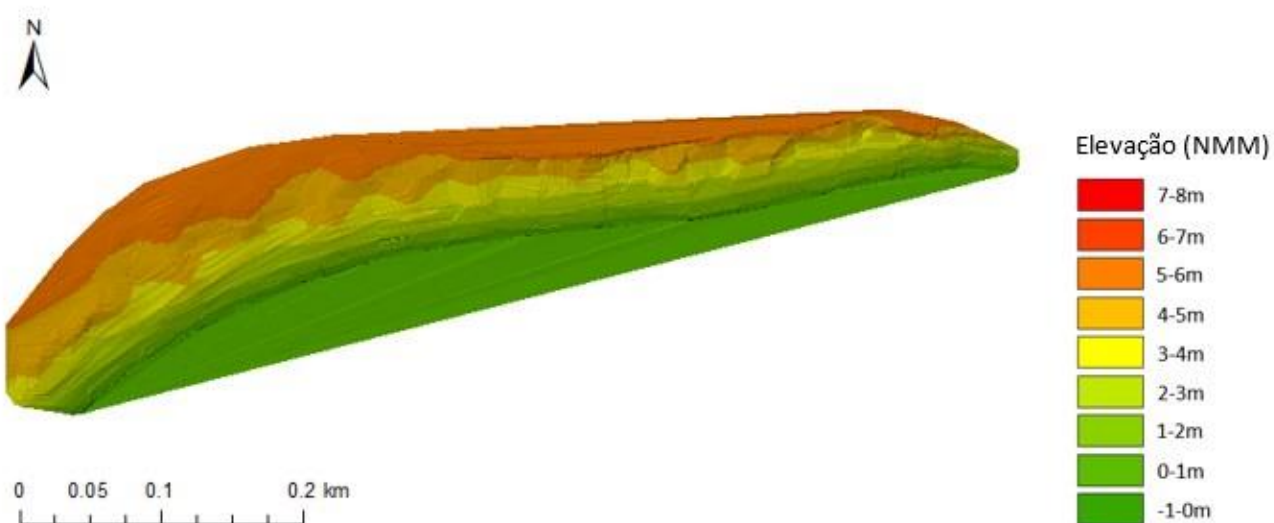


Figura VI. 7 - Modelo Digital de Terreno realizado com o levantamento topográfico integral de dia 26 de Março de 2015.

VI.1.2 - Sedimentos

As areias recolhidas na praia de Santo Amaro apresentam uma grande homogeneidade textural (Anexo 3).

De facto, verifica-se que o diâmetro médio do sedimento que exprime a tendência central da distribuição granulométrica da face de praia, varia entre $0,96\phi$ e $1,98\phi$, correspondendo assim essencialmente a uma areia média.

Relativamente ao desvio-padrão gráfico inclusivo, observa-se que este varia de $0,32\phi$ a $0,72\phi$, indicando um sedimento moderadamente bem calibrado a muito bem calibrado. O desvio-padrão evidencia o grau de dispersão dimensional da população estudada relativamente ao parâmetro de tendência central que, no caso presente não é muito elevado.

O parâmetro de (a)simetria permite-nos evidenciar qual a fração granulométrica predominante no sedimento, de um e de outro lado da região de tendência central.

No que diz respeito a este parâmetro verifica-se que as areias recolhidas apresentam distribuição simétrica ou assimetria negativa, existindo apenas dois casos com assimetria muito negativa (predominância clara de grosseiros).

Por último, e no que se refere à curtose gráfica inclusiva, podemos verificar que a maioria das amostras apresenta distribuição mesocúrtica (indicadora de uma distribuição próxima da normal), existindo apenas duas amostras que se diferenciam: uma com distribuição leptocúrtica, e uma muito leptocúrtica (indicadora de um agente de transporte muito mais seletivo).

O gráfico da Figura VI. 8 representa a variação no tempo do diâmetro médio das areias da face de praia.

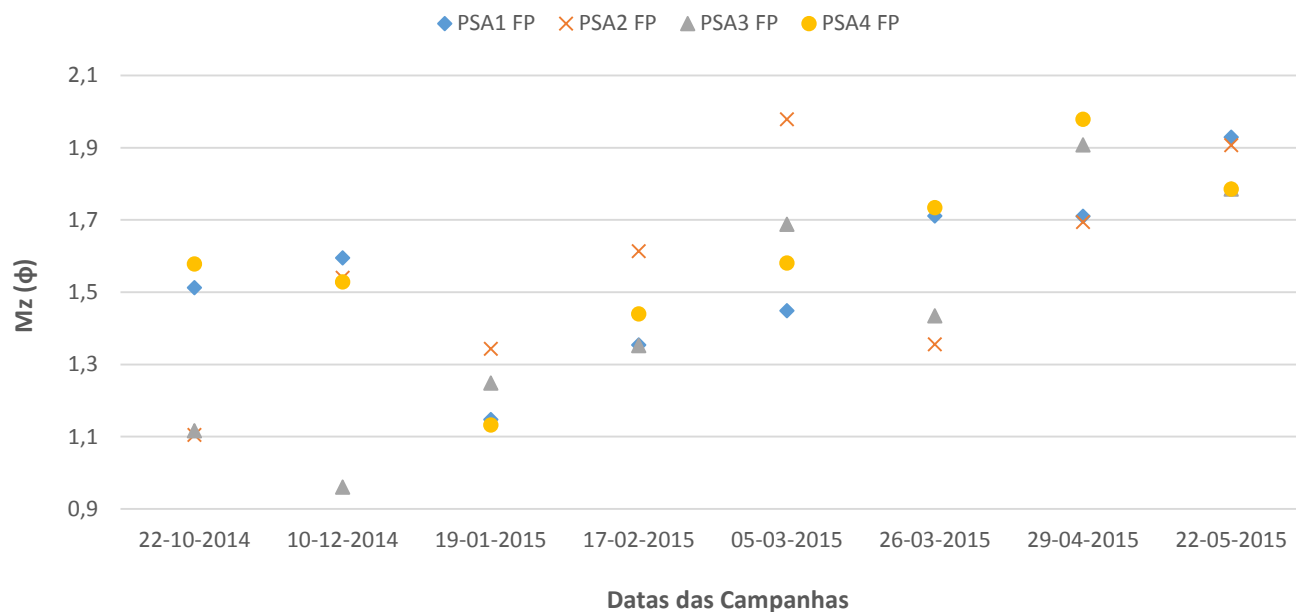


Figura VI. 8 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Variação do diâmetro médio (M_z) ao longo do tempo.

Neste gráfico, é possível verificar a existência de dois grupos de sedimentos ligeiramente distintos: um, de Outubro a Fevereiro, que será aqui denominado de período de agitação intensa, em que a média gráfica corresponde a $1,35\phi$, e outro, de março a Junho, denominado de período de calmaria, onde a média é de $1,73\phi$ (Figura VI. 9).

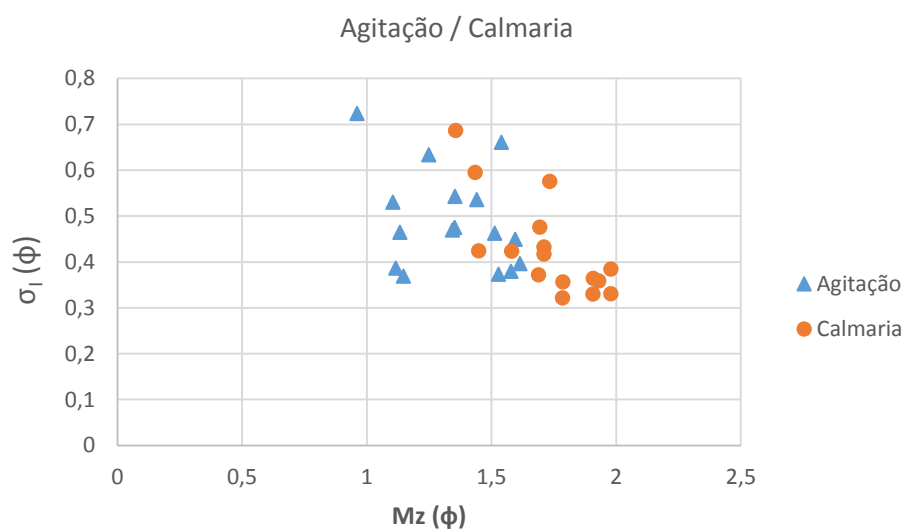


Figura VI. 9 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Regime de maior agitação vs. regime de calmaria.

Sugere-se assim que, no período de calmaria a praia incorporou sedimento mais fino do que no intervalo de agitação mais intensa.

No que diz respeito à variação espacial dos sedimentos ao longo da praia, não é observável nenhuma tendência significativa (Figura VI.10).

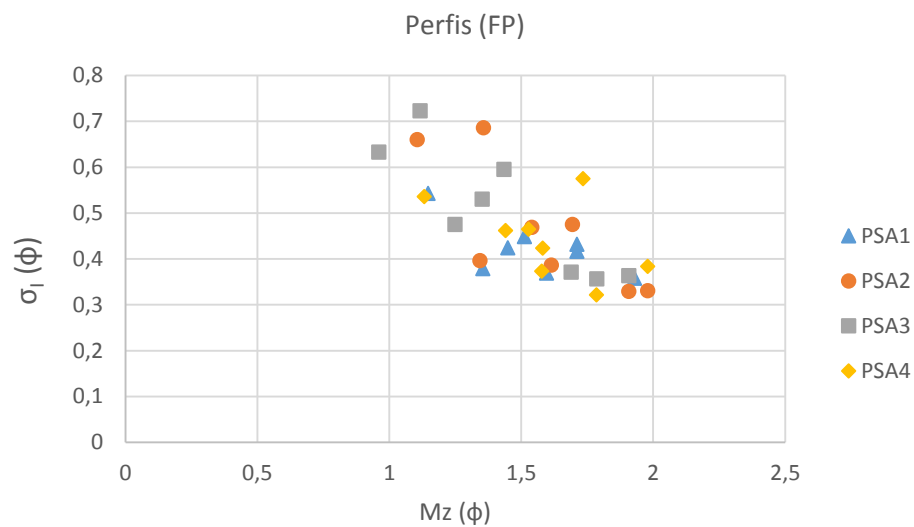


Figura VI. 10 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Variação espacial.

Relativamente às estruturas morfológicas na secção mais alta do perfil transversal da praia, apesar de apenas terem sido analisadas quatro amostras da berma, verifica-se uma tendência para estas serem constituídas por areia ligeiramente mais grosseira relativamente à da face de praia (Figura VI.11).

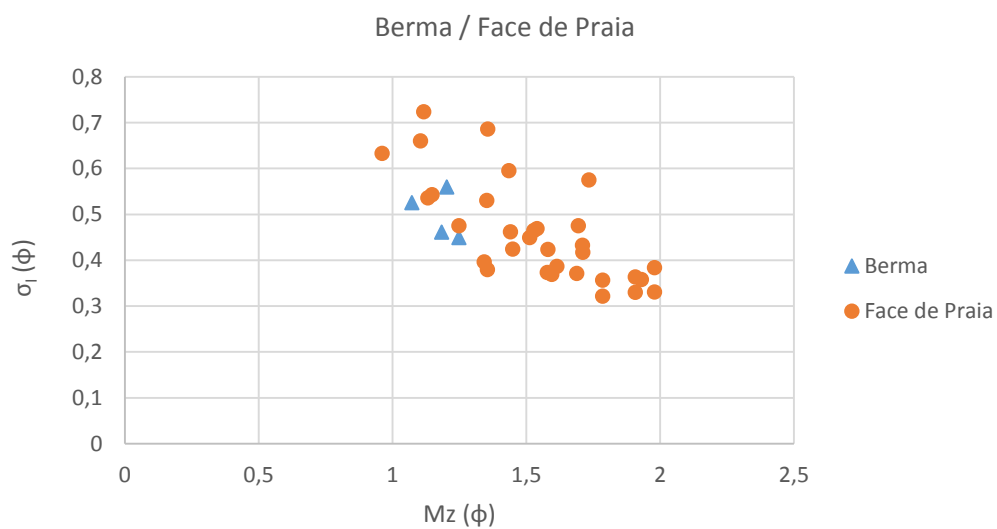


Figura VI. 11 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Caracterização de diferentes estruturas morfossedimentares.

A análise textural das quatro amostras da berma indica que esta é constituída por areias com diâmetro médio que varia entre $1,07\phi$ e $1,25\phi$, com média de $1,18\phi$. O desvio-padrão varia entre $0,45\phi$ e $0,56\phi$, com valor médio de $1,18\phi$. Os sedimentos da berma caracterizam-se então por serem areias médias, moderadamente bem calibradas a bem calibradas, aproximadamente simétricas ou com uma assimetria negativa e com uma distribuição mesocúrtica.

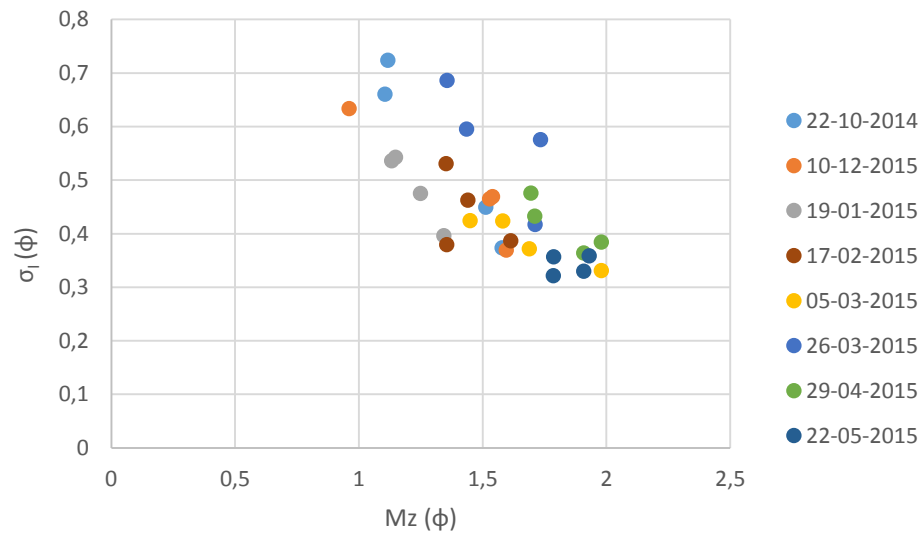


Figura VI. 12 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de Mz vs. σ_1 .

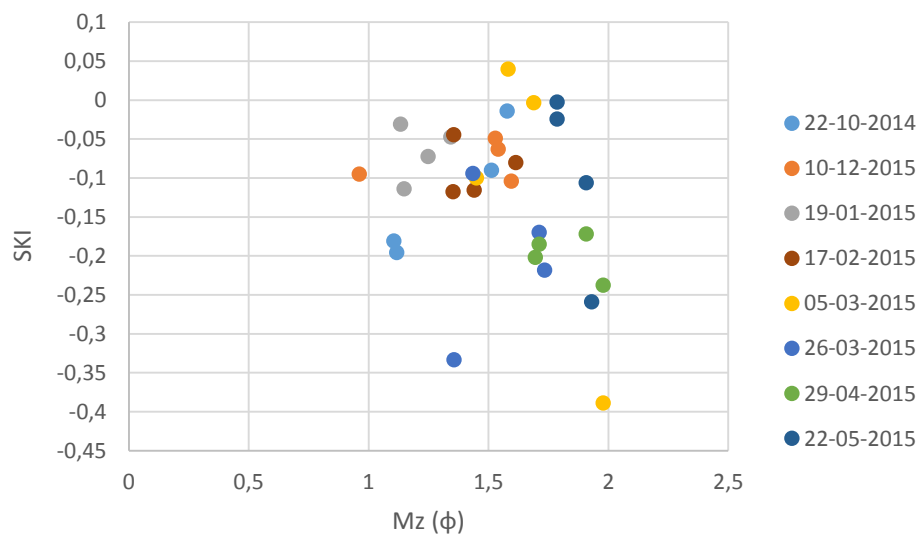


Figura VI. 13 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de Mz vs. SKI .

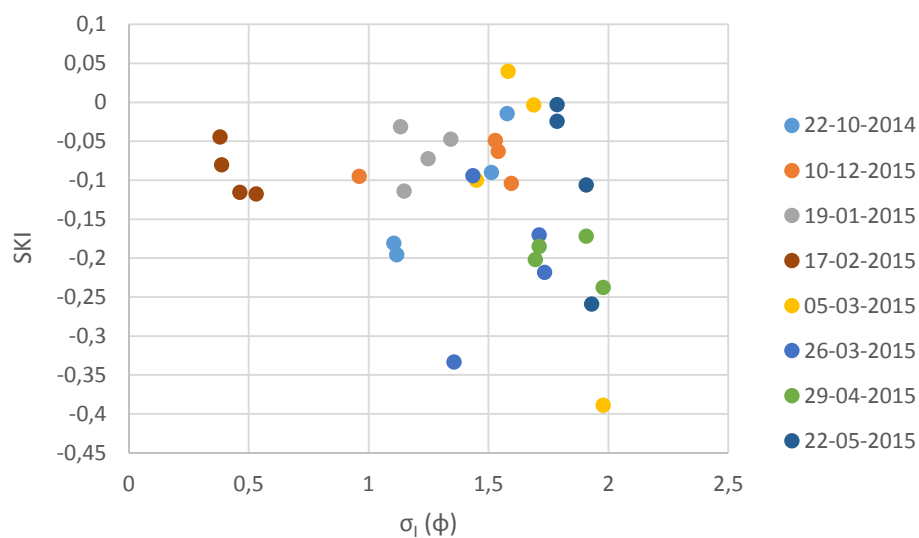


Figura VI. 14 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de σ_1 vs. SKI .

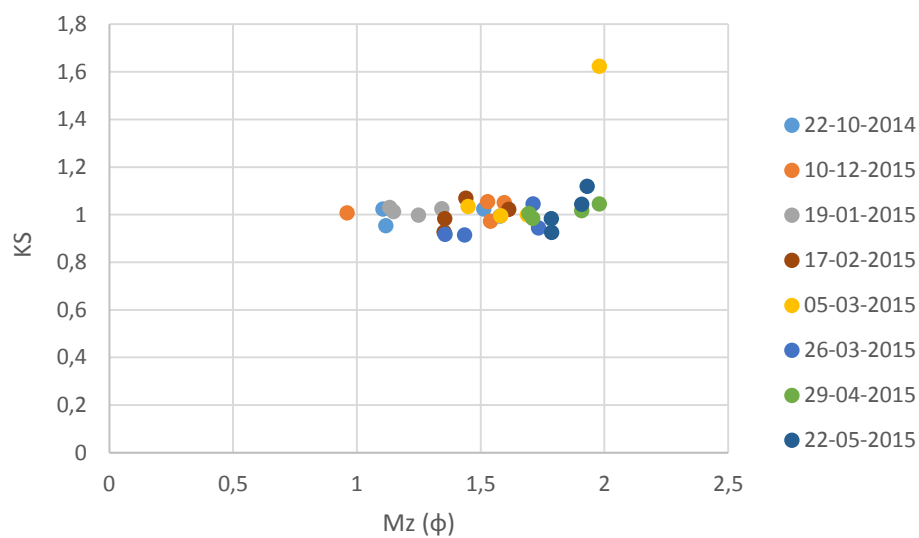


Figura VI. 15 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de Mz vs. KS .

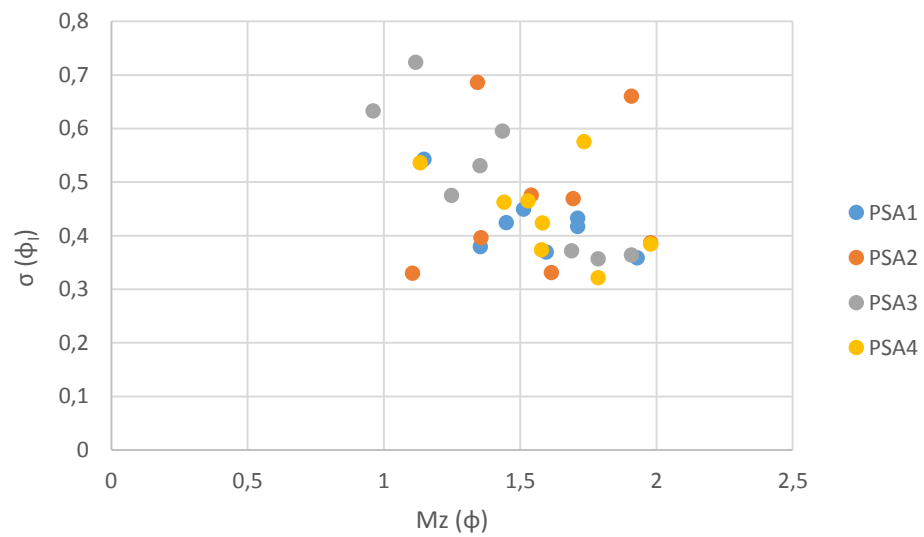


Figura VI. 16 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução espacial de Mz vs. σ_i .

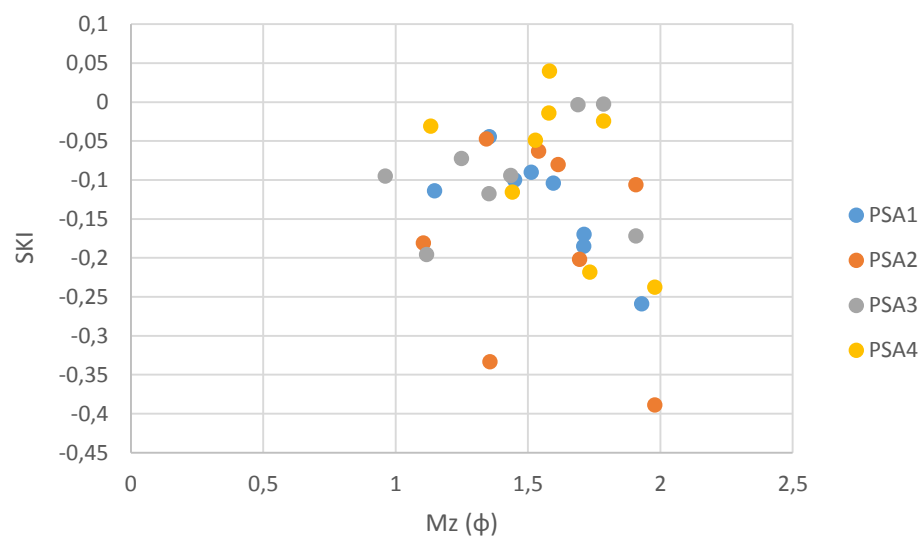


Figura VI. 17 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução espacial de Mz vs. SKI .

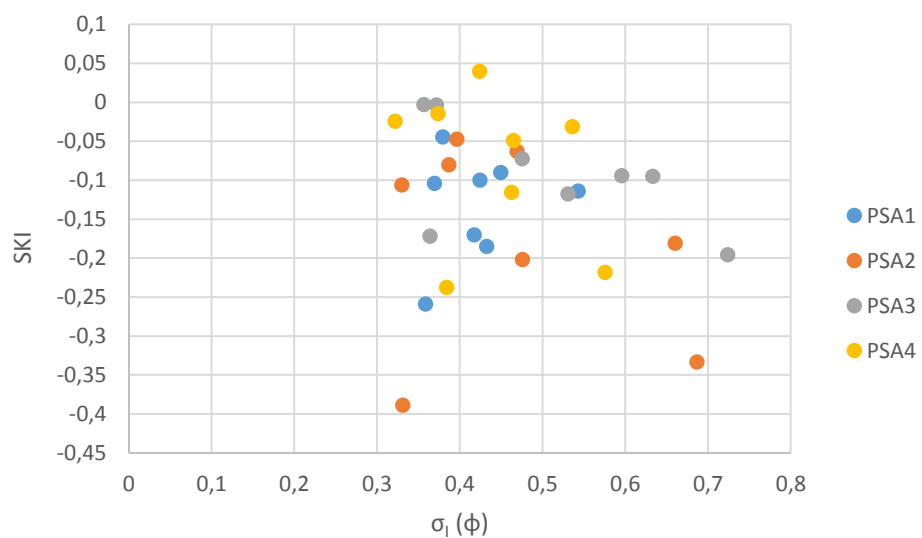


Figura VI. 18 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução espacial de σ_1 vs. SKI.

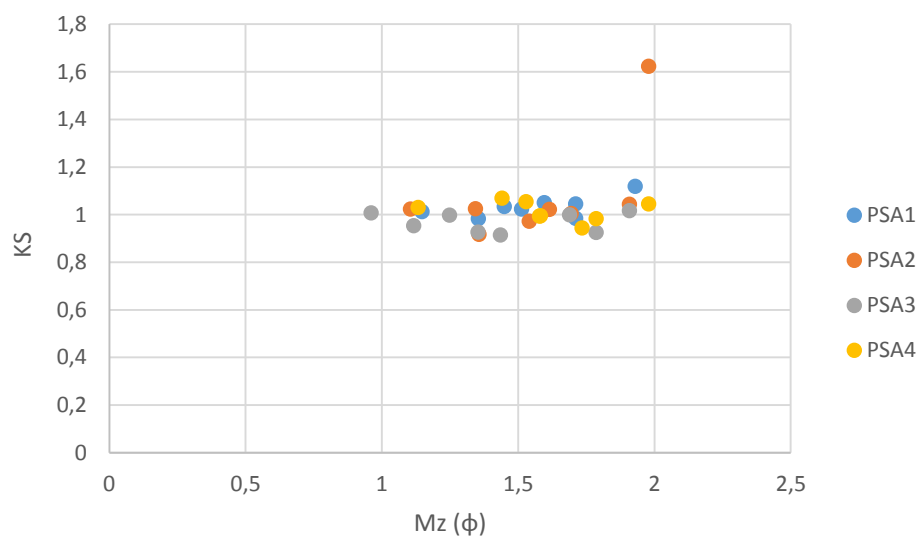


Figura VI. 19 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução espacial de M_z vs. KS.

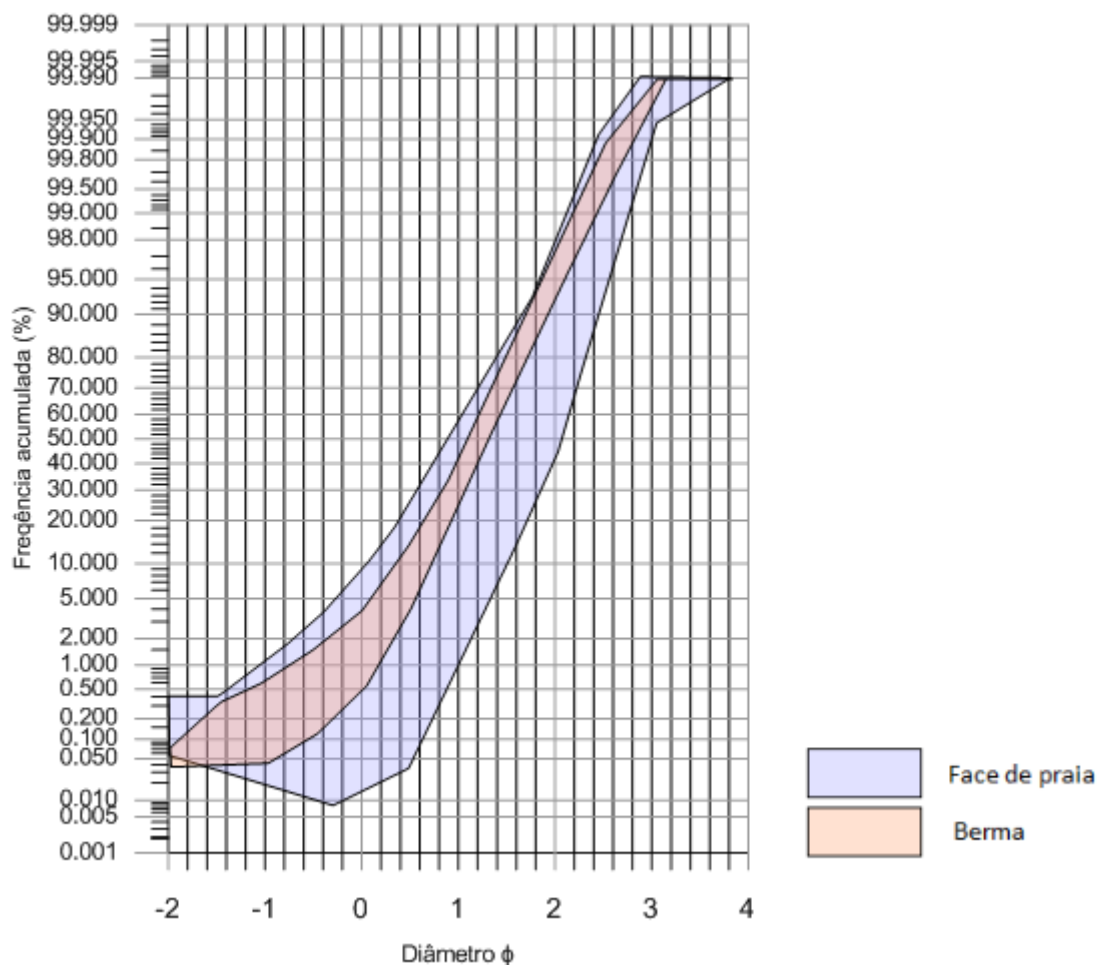


Figura VI. 20 - Representação dos polígonos envolventes das curvas granulométricas de Face e Berma de Praia.

Na Figura VI. 20 ilustram-se as curvas granulométricas da face de praia e berma. Dado o elevado número de amostras, foram traçados os polígonos envolventes das curvas granulométricas das areias de cada domínio de modo a facilitar a comparação entre as duas estruturas morfológicas. Nas amostras da face de praia é possível distinguir três subpopulações, sendo que a subpopulação predominante, com cerca de 95% da amostra, é a de transporte por saltação. A subpopulação de tração/rolamento é geralmente inferior a 5% e a de suspensão inferior a 1%. A subpopulação predominante apresenta dimensões que variam de $-0,5$ a 3ϕ , a dos mais grosseiros de $-0,5$ a -2ϕ , sendo a subpopulação de suspensão muito pouco significativa ($<1\%$) e com dimensão inferior a $2,8\phi$.

Relativamente às amostras recolhidas sobre a berma, apesar de apenas serem identificadas duas classes populacionais (salação e suspensão), pode-se verificar que a inclinação do segmento da curva representativa da população transportada por salação é idêntica à das amostras recolhidas na face de praia. Este resultado demonstra uma homogeneidade textural entre os sedimentos da alta e baixa praia.

Na alta praia, a subpopulação predominante apresenta dimensões que variam de -1 a 3ϕ , e a dos sedimentos transportados por arraste/rolamento de -1 a -2ϕ .

VI.1.2.1 - Calcimetria

Ao observar os resultados obtidos nas calcimetrias realizadas nas amostras recolhidas na praia de Santo Amaro, verifica-se estas são, na sua maioria, pouco carbonatadas, existindo apenas três amostras carbonatadas num total de quarenta (Tabela VI. 1).

No que diz respeito à sua variação temporal, verifica-se um ligeiro aumento do teor em carbonato de cálcio (cerca de 3%) em 3 das 7 amostras recolhidas nas duas últimas campanhas (22 de Maio e 18 de Junho) (Figura VI. 21).

Tabela VI. 1 - Resultados das calcimetrias realizadas nas amostras de sedimentos da face de praia da praia de Santo Amaro.

	%CaCO ₃			
	PSA1 FP	PSA2 FP	PSA3 FP	PSA4 FP
22-10-2014	9,3	7,5	10,6	13,7
10-12-2014	9,6	10,1	10,6	9,5
19-01-2015	9,2	9,4	9,5	8,1
17-02-2015	8,5	9,1	13,0	10,7
05-03-2015	8,5	12,6	14,0	12,8
26-03-2015	9,3	9,4	13,0	11,5
29-04-2015	10,0	10,2	10,08	12,1
22-05-2015	13,9	9,6	15,7	15,3
18-06-2015	12,3	18,9	11,8	11,8

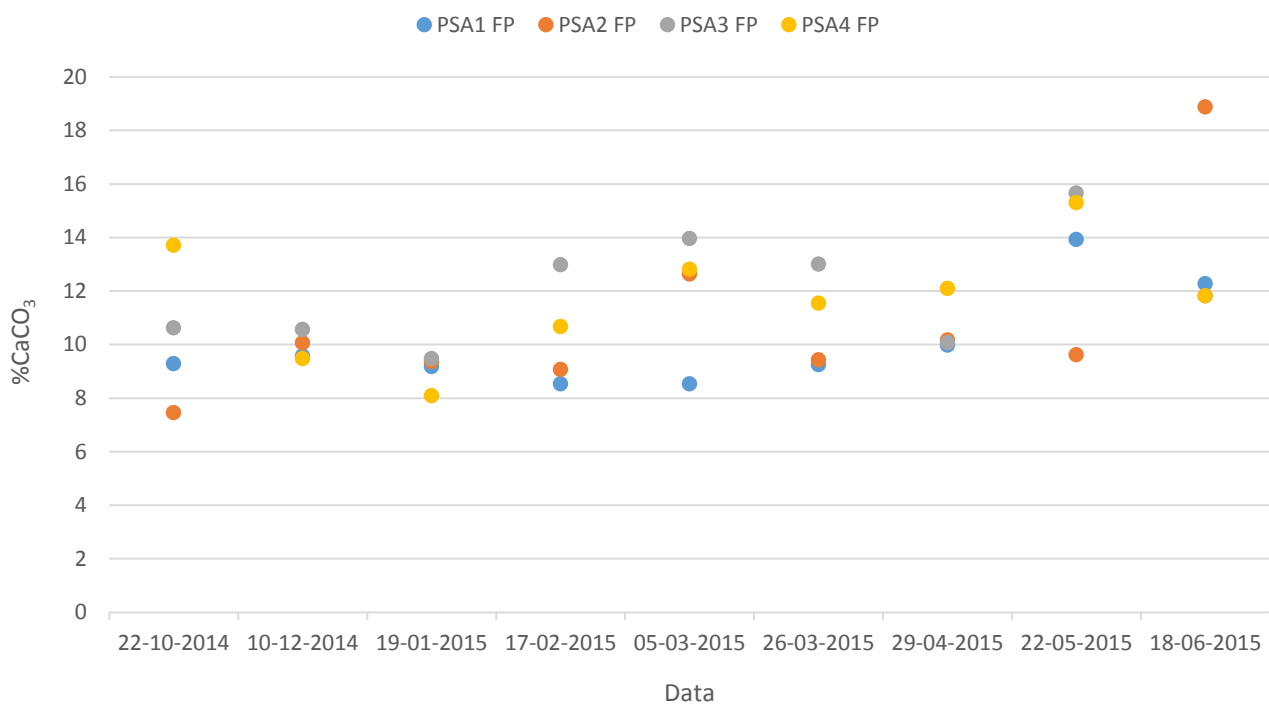


Figura VI. 21 - Variação temporal do teor em carbonato de cálcio das amostras de sedimentos da praia de Santo Amaro.

Quanto à sua variação espacial, verifica-se que as amostras recolhidas no perfil PSA3 apresentam um teor em carbonato de cálcio ligeiramente superior (1%) às recolhidas nos restantes perfis (Figura VI. 22).

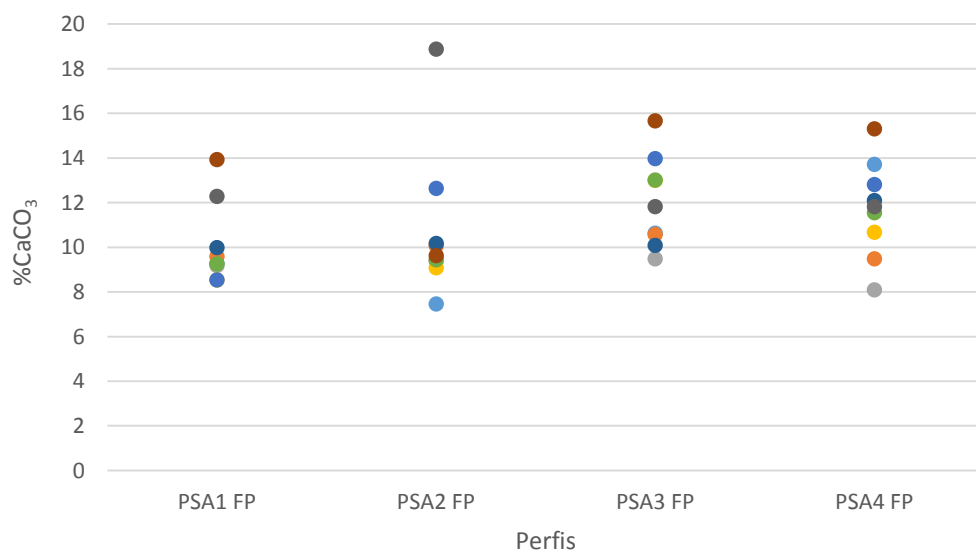


Figura VI. 22 - Variação espacial do teor em carbonato de cálcio das amostras de sedimentos da praia de Santo Amaro.

Relativamente às amostras recolhidas sobre a berma, não se verificou nenhuma diferença significativa em relação ao seu teor em carbonato de cálcio.

Assim, as amostras representativas da berma apresentam um teor em carbonato de cálcio que varia de 7,6% a 13,2% podendo ser caracterizadas como pouco carbonatadas (Tabela VI. 2). Uma vez que estas amostras foram recolhidas apenas numa única campanha (22 de Outubro), a sua contribuição para a caracterização geral da praia é pouco significativa.

Tabela VI. 2 - Resultados das calcimetrias realizadas nas amostras de sedimentos da berma da praia de Santo Amaro.

%CaCO ₃			
PSA1 B	PSA2 B	PSA3 B	PSA4 B
13,2	11,7	10,0	7,6

É de referir que o carbonato de cálcio nestas amostras tende a surgir predominantemente em fragmentos de conchas ou em litoclastos de calcário normalmente de dimensões superiores a - 0,5φ, existindo sempre uma predominância clara dos bioclastos sobre os litoclastos.

VI.1.3 - Morfologia, morfodinâmica e retenção volumétrica

Com o objetivo de calcular a retenção sedimentar das praias estudadas e avaliar os volumes erodidos e depositados em cada um dos perfis de controlo monitorizados na praia de Santo Amaro, foram calculadas as áreas limitadas, em cada ponto de controlo, pelo perfil topográfico até à cota do NMM, com os resultados ilustrados nas Tabelas VI. 3, VI. 4, VI. 5 e Figura VI. 23.

Relativamente à variação observada no perfil PSA1 verifica-se, de um modo geral, que o seu balanço volumétrico foi negativo (-4,90%) tendo o seu volume diminuído em cerca de $15,31\text{m}^3/\text{m}$.

O perfil PSA2 começou por registar, em Dezembro, um ganho volumétrico significativo (cerca de 20%) seguido de uma perda elevada em Janeiro (-14%). A partir daí as variações volumétricas neste perfil foram pouco significativas (+/-5%). Quanto ao balanço final registou-se um ganho de $13,35\text{m}^3/\text{m}$, correspondendo este valor a 5,65% do seu volume médio.

Relativamente a PSA3, a maior variação volumétrica registada foi em Dezembro, quando se verificou um aumento de 13,03% relativamente ao volume médio. Nas campanhas seguintes registaram-se pequenos episódios de erosão e deposição, provocando variações volumétricas de menor amplitude (entre 6,26% e -8,71%).

Neste perfil verificou-se um balanço final positivo de 11,52%, correspondendo este valor a um ganho volumétrico de $11,39\text{m}^3/\text{m}$.

No perfil PSA4 também se verificou um balanço sedimentar negativo, sendo este bastante significativo. O seu volume foi reduzido em 27,81% do volume médio, correspondendo este valor a uma perda volumétrica da ordem de $36,53\text{m}^3/\text{m}$.

A maior perda sedimentar neste perfil foi verificada no início de Março, quando o volume médio do perfil foi diminuído em 18,59%.

Tabela VI. 3 – Retenção volumétrica por unidade de comprimento de costa [m³/m], nos diferentes perfis.

		PSA1	PSA2	PSA3	PSA4	Vol. TOTAL
Datas das Campanhas	22-10-2014	281,97	217,27	89,61	167,06	147625,59
	10-12-2014	297,23	264,93	102,50	158,31	159239,14
	19-01-2015	315,22	231,54	93,88	138,25	152819,32
	17-02-2015	311,71	244,09	96,22	132,37	153248,58
	05-03-2015	326,38	230,84	97,79	107,96	150229,17
	26-03-2015	341,80	239,66	99,78	106,92	155338,54
	29-04-2015	347,37	239,63	105,96	113,94	159128,12
	22-05-2015	323,83	227,57	103,03	127,02	153765,74
	18-06-2015	266,67	230,61	101,00	130,53	141263,52
	Volume Médio	312,46	236,24	98,86	131,37	152517,52

Tabela VI. 4 - Variação do volume de areia retidas nos perfis da praia de Santo Amaro [m³/m].

Data	Variação volumétrica em m³/m			
	PSA1	PSA2	PSA3	PSA4
22-10-2014				
10-12-2014	15,25	47,67	12,88	-8,75
19-01-2015	18,00	-33,39	-8,61	-20,06
17-02-2015	-3,52	12,55	2,34	-5,88
05-03-2015	14,67	-13,25	1,57	-24,42
26-03-2015	15,42	8,82	1,99	-1,04
29-04-2015	5,57	-0,03	6,19	7,02
22-05-2015	-23,53	-12,07	-2,93	13,07
18-06-2015	-57,16	3,04	-2,03	3,51

Tabela VI. 5 - Variação do volume de areia retidas nos perfis da praia de Santo Amaro (% do valor médio).

Data	Variação Volumétrica (%)			
	PSA1	PSA2	PSA3	PSA4
22-10-2014				
10-12-2014	4,88	20,18	13,03	-6,66
19-01-2015	5,76	-14,14	-8,71	-15,27
17-02-2015	-1,13	5,31	2,36	-4,47
05-03-2015	4,70	-5,61	1,59	-18,59
26-03-2015	4,93	3,74	2,01	-0,79
29-04-2015	1,78	-0,01	6,26	5,34
22-05-2015	-7,53	-5,11	-2,96	9,95
18-06-2015	-18,29	1,29	-2,06	2,67
Balanco final	-4,90	5,65	11,52	-27,81

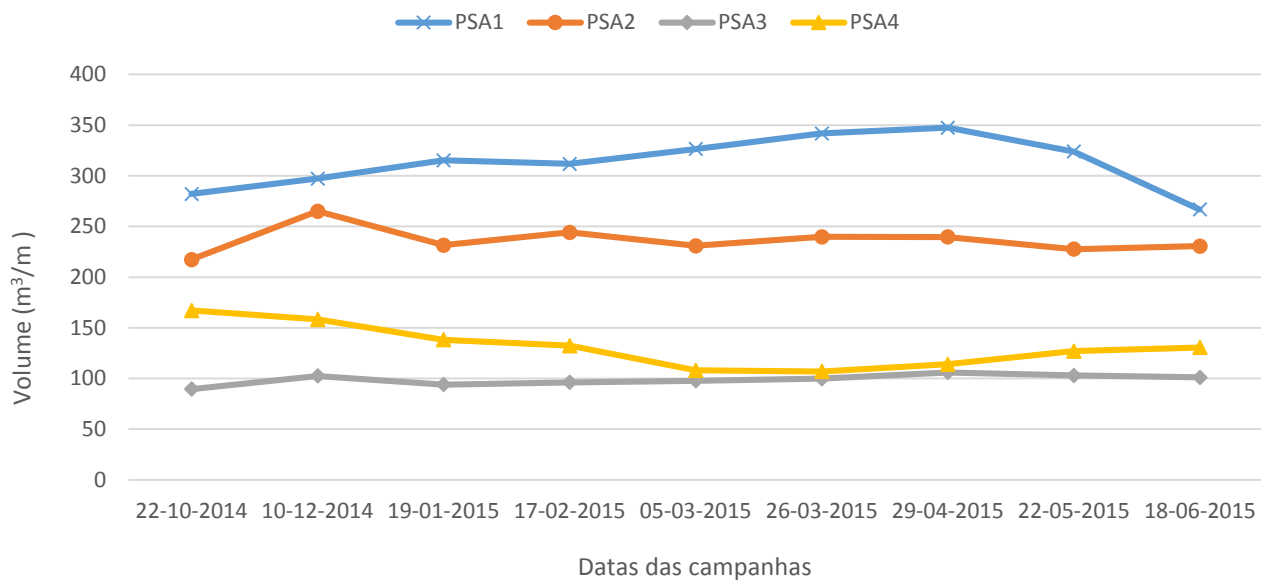


Figura VI. 23- Variação do volume de areia nos perfis da praia de Santo Amaro [m³/m].

Admitindo que o volume calculado em cada perfil é representativo de uma área limitada pela meia distância a cada perfil adjacente (e pelos limites da praia nos perfis extremos), foi possível estimar o volume total da praia em cada campanha.

Assim, pode-se observar que, de Outubro a Dezembro, houve um aumento do volume da praia em cerca de 11614m³ seguido de um período de perda (Figura VI. 24).

De Fevereiro para Março registou-se uma ligeira perda (cerca de 2%), e de Março para Abril um aumento de cerca de 5,5% (Tabela VI. 6).

De Abril até ao final do período de monitorização foi registada uma perda volumétrica significativa de quase 12% do seu volume médio.

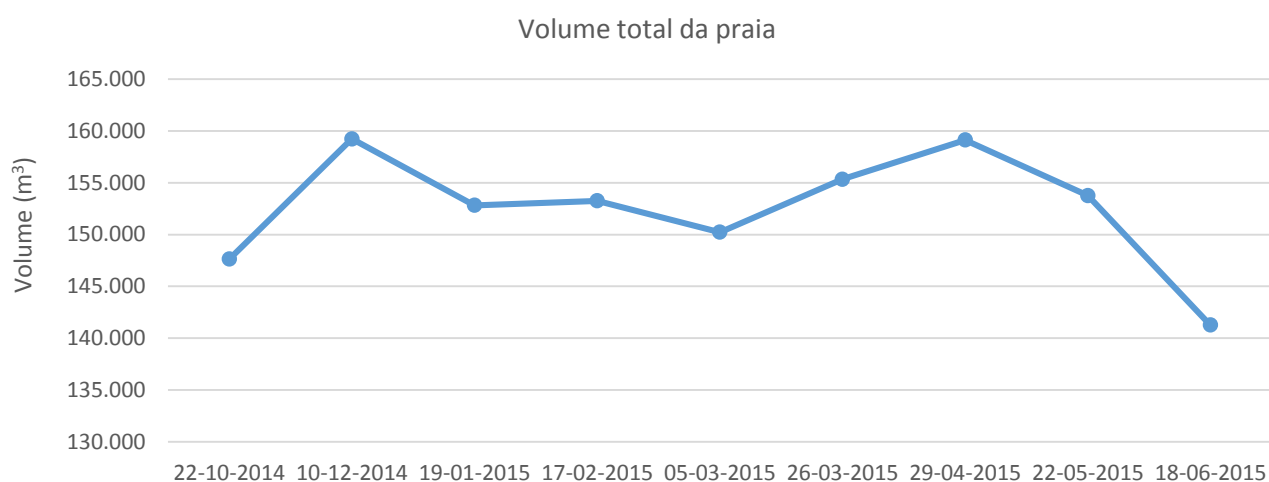


Figura VI. 24 - Variação temporal do volume total de areia da praia de Santo Amaro.

Tabela VI. 6 - Variação total do volume de areia na praia de Santo Amaro.

Data	Volume da Praia (m³)	Variação volumétrica (m³)	Variação volumétrica (%)
22-10-2014	147625,59		
10-12-2014	159239,14	11613,55	7,61
19-01-2015	152819,32	-6419,82	-4,21
17-02-2015	153248,58	429,26	0,28
05-03-2015	150229,17	-3019,41	-1,98
26-03-2015	155338,54	5109,38	3,35
29-04-2015	159128,12	3789,57	2,48
22-05-2015	153765,74	-5362,38	-3,52
18-06-2015	141263,5158	-12502,22	-8,20

De modo a confirmar os resultados extrapolados a partir dos perfis, os volumes foram também calculados através dos modelos digitais de terreno elaborados para as campanhas em que foram realizados levantamentos topográficos integrais (Tabela VI. 7). Os resultados obtidos encontram-se representados na tabela a baixo.

Tabela VI. 7 - Volume total da areia da praia de Santo Amaro calculado através dos MDT's.

Data	Volume da Praia (m³)
19-01-2015	124746,9
26-03-2015	138894,1

Apesar de ligeiramente inferiores, podemos verificar que a ordem de grandeza é a mesma, o que confere credibilidade aos valores anteriormente calculados por extrapolação das retenções em cada perfil. As diferenças orçam por -20% (Janeiro) e -10% (Março) do volume obtido a partir dos levantamentos integrais. Tendo em atenção as incertezas inerentes à metodologia de quantificação dos volumes, julga-se que as variações de magnitude <5% da retenção volumétrica em cada perfil devem ser interpretadas com precaução.

VI.2 - Paço d'Arcos

VI.2.1 - Morfologia

A Figura VI. 25 apresenta os resultados obtidos sobre a variação morfológica observada no perfil PPA1 da praia de Paço d'Arcos. Este perfil, que se encontra no extremo W da praia, é constituído por uma berma (tipicamente horizontal ou a inclinar para o mar), e por uma face de praia bastante inclinada.

No início do período de monitorização, em Outubro de 2014, o perfil apresentava uma forma convexa, e é possível verificar a presença de uma barra em processo de anexação à berma. Passadas 8 semanas, em Dezembro, a barra já se encontrava totalmente soldada à berma. De Dezembro para Janeiro verificou-se um ligeiro rebaixamento da berma, e em Fevereiro existia novamente uma barra em processo de migração, assim como uma barra de espalho, ambas dispostas longitudinalmente à linha de costa. De Fevereiro até ao final do período de monitorização, o perfil PPA1 evoluiu no sentido de elevação da berma, verificando-se uma variação de cota entre 2,4 e 3,1m (NMM) no seu limite externo (crista da berma), enquanto a largura se manteve aproximadamente constante (cerca de 28m).

Relativamente à face de praia verifica-se que o declive desta variou de 2,8° a 5,9° sendo o seu valor médio de 4,4°.

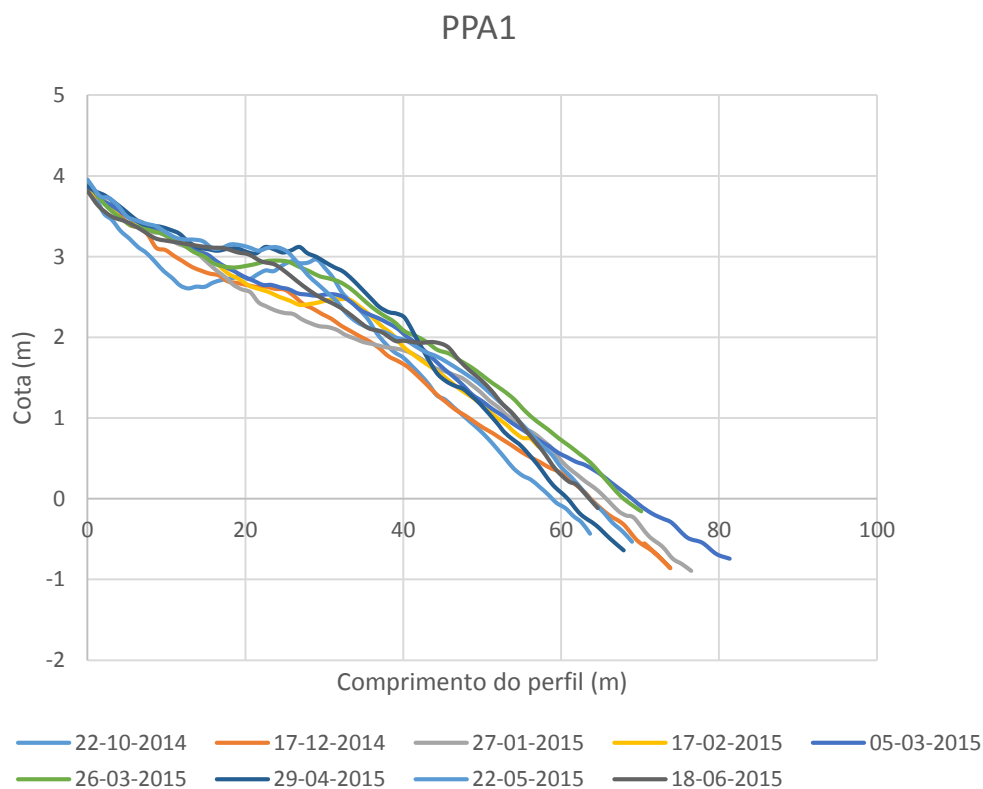


Figura VI. 25 - Variação do perfil PPA1 no período de monitorização.

No perfil PPA2, é possível identificar dois estados morfodinâmicos distintos: um de mais alta energia, e portanto de erosão, que ocorreu entre Outubro de 2014 e Fevereiro de 2015, e outro de mais baixa energia onde ocorre a recuperação do perfil de praia (de Fevereiro a Julho) (Figura VI. 26).

No mês de Outubro também é notório, neste perfil, a presença de uma barra a anexar-se à berma, que vai sendo progressivamente erodida até Fevereiro, levando a uma diminuição da largura da berma de cerca de 38m para 25m.

No que diz respeito à face de praia, verifica-se que o declive desta variou de $3,3^\circ$ a $5,5^\circ$ sendo o seu valor médio de $4,1^\circ$.

Devido a problemas instrumentais, não foi possível realizar os levantamentos topográficos do PPA3 e PPA4 no dia de 22 de Outubro de 2014.

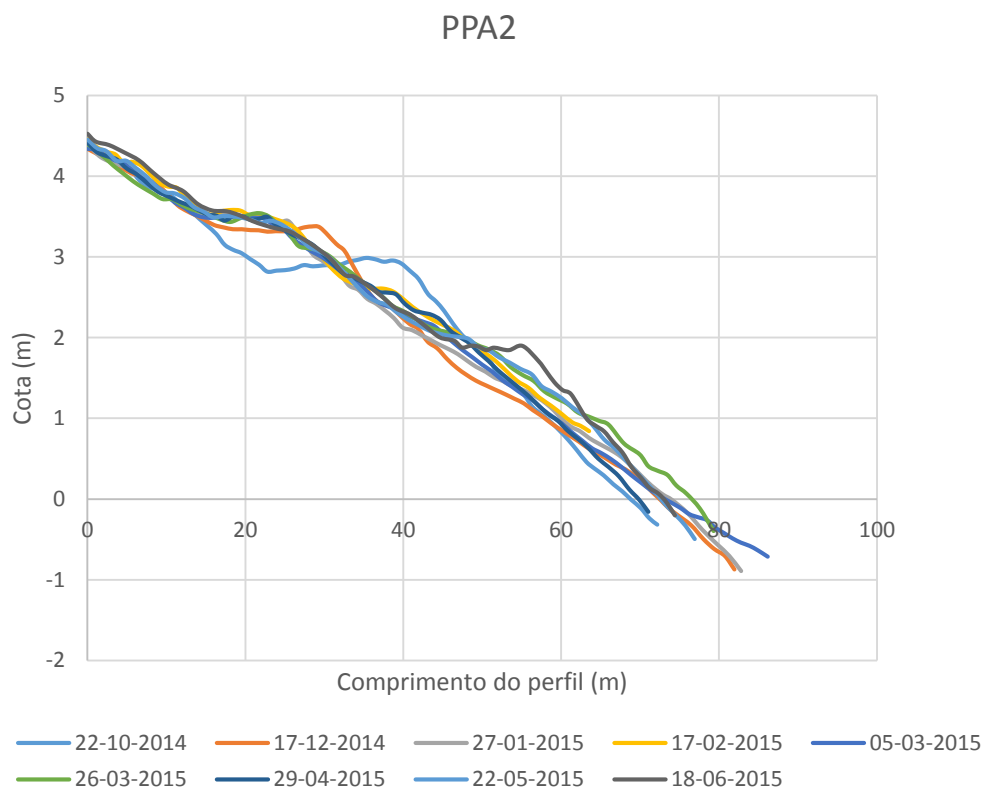


Figura VI. 26 - Variação do perfil PPA2 no período de monitorização.

O perfil PPA3 (Figura VI. 27) é aquele em que as variações sazonais da morfologia menos se fazem sentir, revelando uma geometria bastante estável ao longo do período de monitorização. Este perfil apresenta uma geometria aproximadamente linear e sem berma (na maior parte dos levantamentos topográficos) ou ligeiramente convexa.

A berma apenas se encontra presente nos levantamentos realizados em Fevereiro e em Março, com 8 e 10m de largura, respetivamente, e em ambos os casos a inclinar ligeiramente para o mar.

Relativamente à face de praia, verifica-se que o seu declive se manteve muito constante ao longo do tempo variando de 3,2° a 4,4° sendo o valor médio de 3,7°.

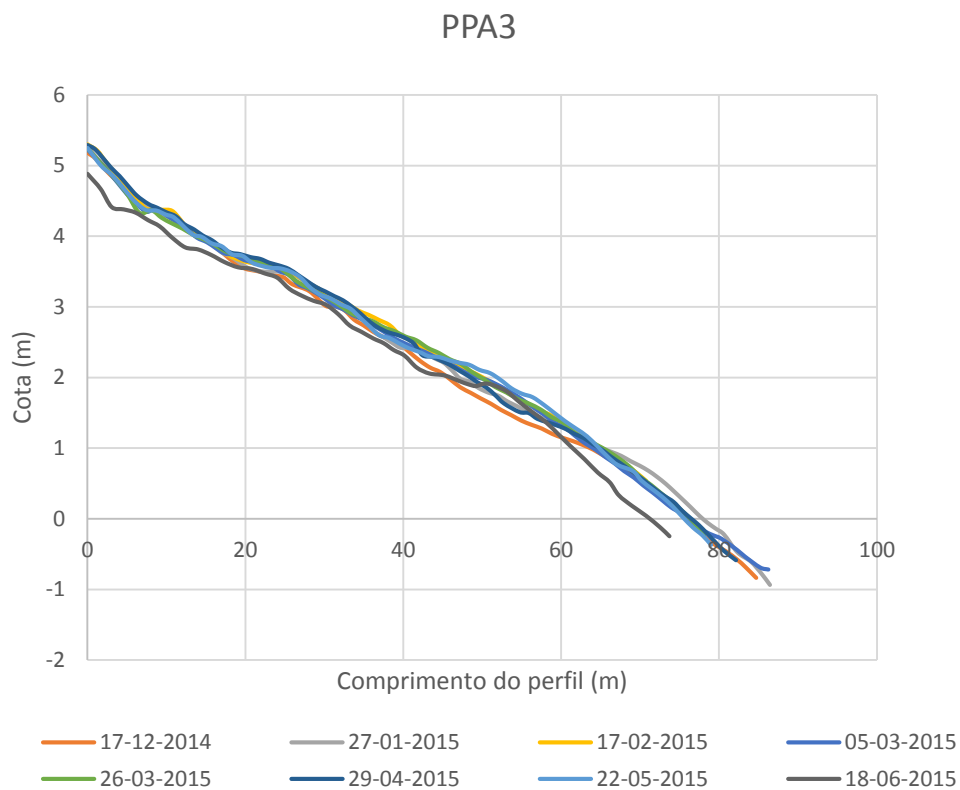


Figura VI. 27 - Variação do perfil PPA3 no período de monitorização.

O perfil PPA4, representativo do extremo E da praia, também apresenta uma pequena variação morfológica sazonal (Figura VI. 28). Em todas as campanhas realizadas apresenta uma geometria ligeiramente convexa. A berma inclina ligeiramente para o mar, a sua largura varia de 7 a 18m, e a sua cota mantém-se aproximadamente estável (variações na ordem dos centímetros).

Na campanha de dia 5 de Março de 2015 é visível uma pequena barra de espalho com uma orientação longitudinal à linha de costa.

No perfil PPA4 a face de praia apresenta uma inclinação pouco variável, entre 2,6° e 4,0° sendo o valor médio de 3,3°.

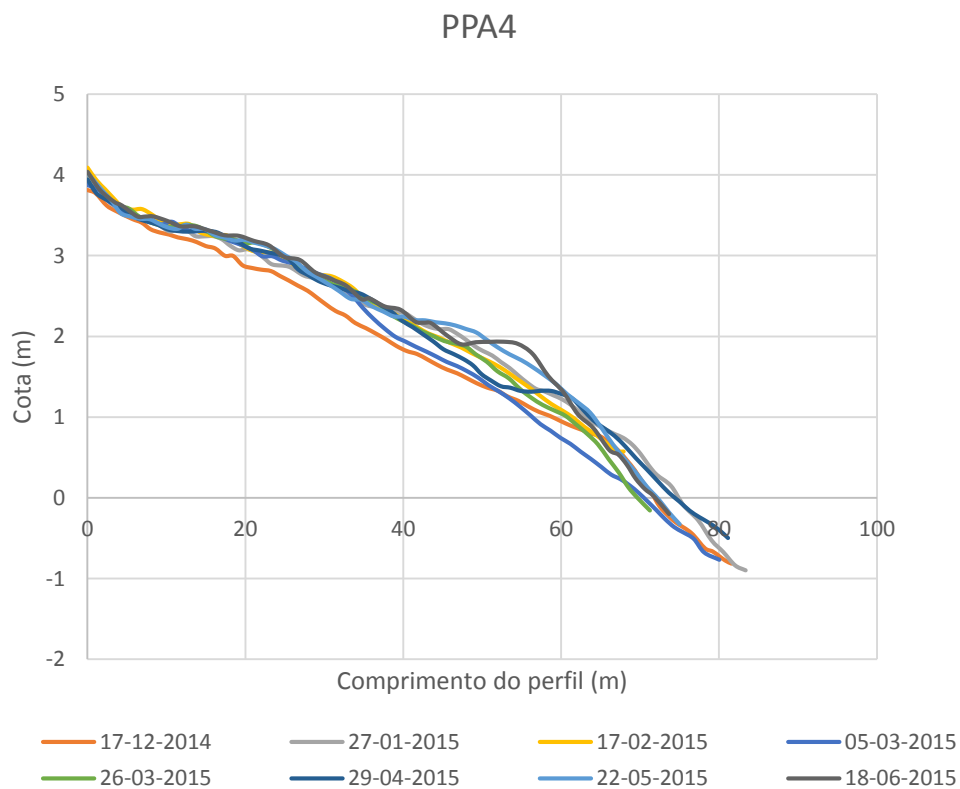


Figura VI. 28 - Variação do perfil PPA4 no período de monitorização.

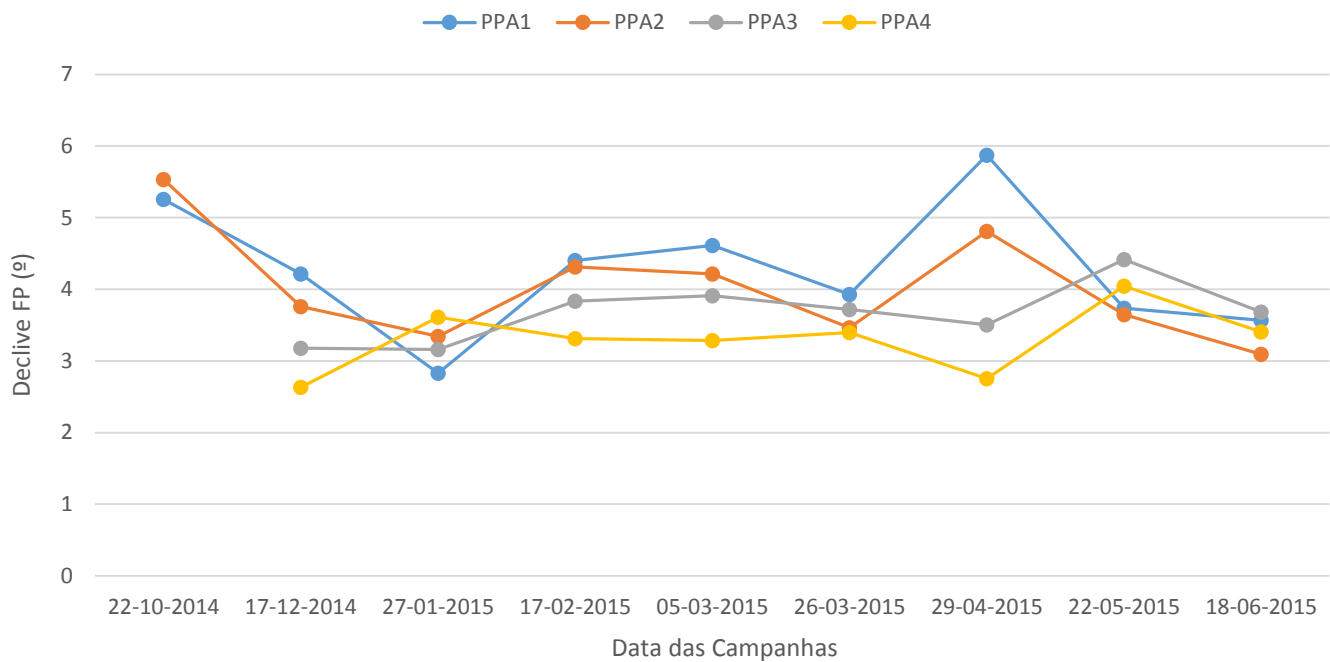


Figura VI. 29 - Variação do declive da face de praia em cada um dos perfis, ao longo das 9 campanhas de campo realizadas.

É ainda de referir que, em todas as campanhas realizadas se observaram sistemas de “beach cusps”. Uma vez que os perfis cortam estas formas transversalmente, estas encontrar-se-ão melhor representadas nos levantamentos topográficos integrais.

VI.2.1.1 - Levantamentos topográficos integrais

Observando os MDT's realizados através dos levantamentos topográficos integrais (Figura VI. 30 e VI. 31), é possível verificar que de Janeiro para Março existiu uma recuperação do *stock* sedimentar em toda a praia, evidenciado pela elevação de todas as suas estruturas (face de praia, berma e terraço de baixa mar).

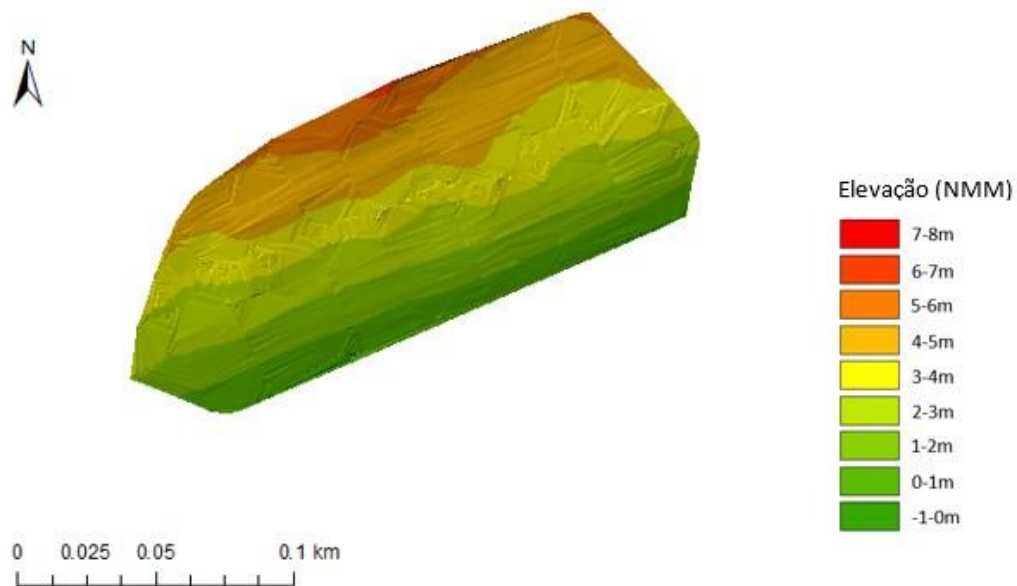


Figura VI. 30 - Modelo digital de terreno elaborado em ArcGis referente ao levantamento topográfico integral realizado a 27 de Janeiro de 2015.

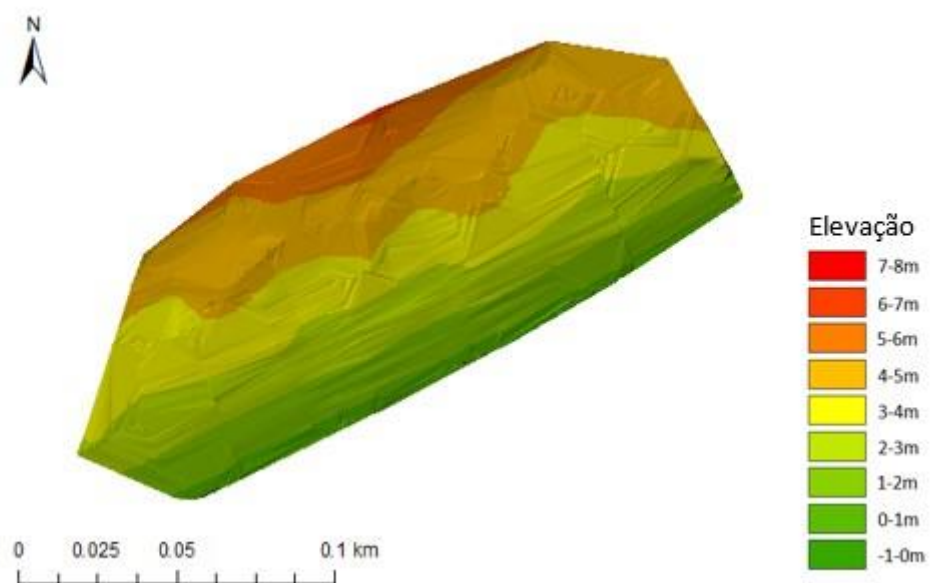


Figura VI. 31 - Modelo digital de terreno elaborado em ArcGis referente ao levantamento topográfico integral realizado a 27 de Janeiro de 2015.

VI.2.2 - Sedimentos

O estudo das amostras de sedimento recolhidas na praia de Paço d'Arcos, mostra que estes materiais apresentam uma grande homogeneidade textural (Anexo 4).

O diâmetro médio do sedimento da face desta praia varia de $1,45\phi$ a $2,09\phi$, correspondendo assim, na generalidade dos casos, a areias médias, exceto duas amostras que correspondem a areias finas.

Relativamente ao desvio-padrão gráfico inclusivo, verifica-se que este varia de $0,31\phi$ a $0,47\phi$, constatando-se assim que, no que diz respeito à calibragem, as areias são bem calibradas a muito bem calibradas.

No que diz respeito à assimetria verifica-se que as areias apresentam curva de distribuição simétrica ou assimetria negativa (predominância da fração grosseira sobre a fina).

Por último, através do cálculo da curtose gráfica, observa-se que a totalidade das amostras recolhidas apresenta uma distribuição mesocúrtica (indicadora de uma distribuição próxima da normal).

Na Figura VI. 32 está representada a variação do diâmetro médio dos sedimentos da face de praia, ao longo do período de estudo. Observa-se que, em cada campanha, as amostras do perfil PPA4 correspondem quase sempre às mais grosseiras, e as amostras PPA1 correspondem tendencialmente às mais finas.

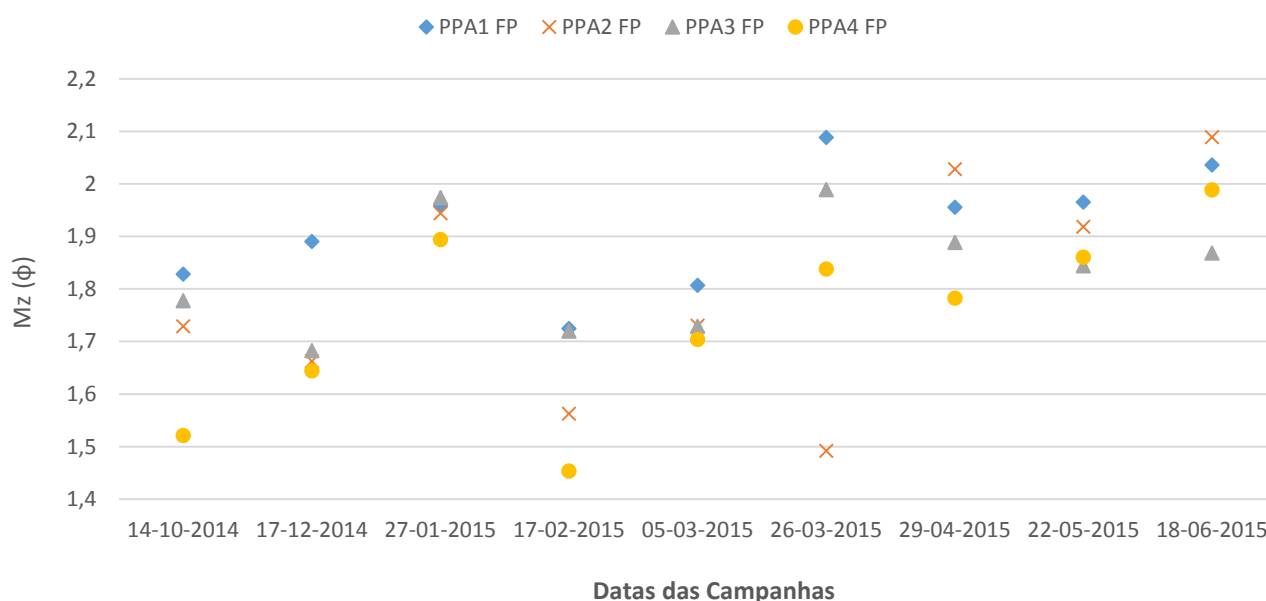


Figura VI. 32 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Variação do diâmetro médio (M_z) ao longo do tempo.

É possível também verificar a existência de dois grupos ligeiramente distintos: um de Outubro a Fevereiro (período de maior agitação), em que a média gráfica corresponde a $1,7\phi$, em valor médio, e outro de março a Junho (período de calmaria) onde a média é de $1,9\phi$ (Figura VI. 33).

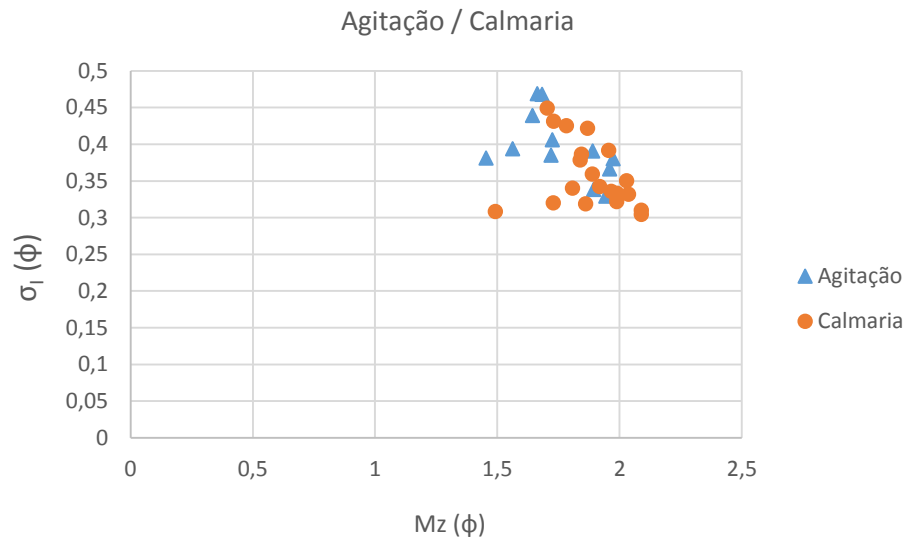


Figura VI. 33 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Regime de maior agitação vs. regime de calmaria.

No que diz respeito à variação espacial dos sedimentos ao longo da praia, não é observável nenhuma tendência significativa.

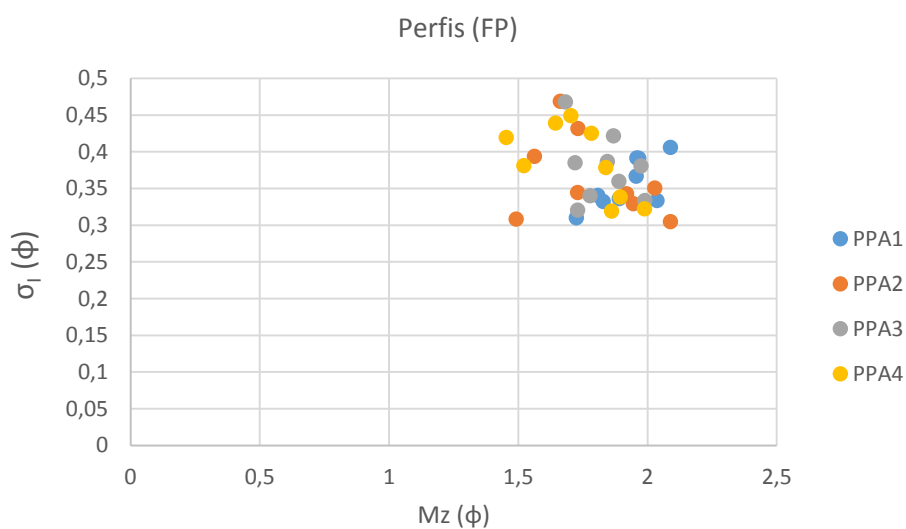


Figura VI. 34 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Variação espacial.

Relativamente às estruturas morfológicas, apesar de apenas terem sido analisadas quatro amostras da berma, e quatro amostras da lomba no sopé da face de praia, verifica-se uma tendência para estas serem ligeiramente mais grosseiras amostras da face de praia (Figura VI. 35).

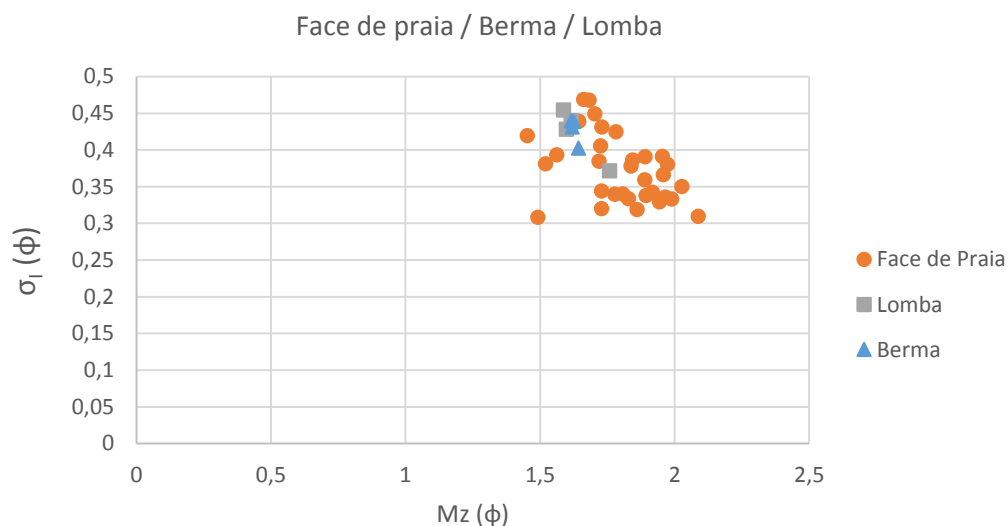


Figura VI. 35 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Caracterização de diferentes estruturas morfossedimentares.

A análise textural das quatro amostras da berma indicam que esta é constituída por areias com diâmetro médio que varia entre $1,62\phi$ e $1,64\phi$, com média de $1,63\phi$. O desvio-padrão varia entre $0,40\phi$ e $0,44\phi$, com valor médio de $0,43\phi$.

Os sedimentos da berma caracterizam-se então por serem areias médias, bem calibradas, aproximadamente simétricas e com uma distribuição mesocúrtica.

A análise textural das amostras representativas da lomba presente no sopé da face de praia demonstra que esta é essencialmente constituída por areias com diâmetro médio que varia entre $1,59\phi$ e $1,76\phi$, com média de $1,64\phi$. O desvio-padrão varia entre $0,37\phi$ e $0,45\phi$, com valor médio de $0,42\phi$.

Assim, os sedimentos são caracterizados por serem também areias médias, bem calibradas, aproximadamente simétricas e com uma distribuição mesocúrtica.

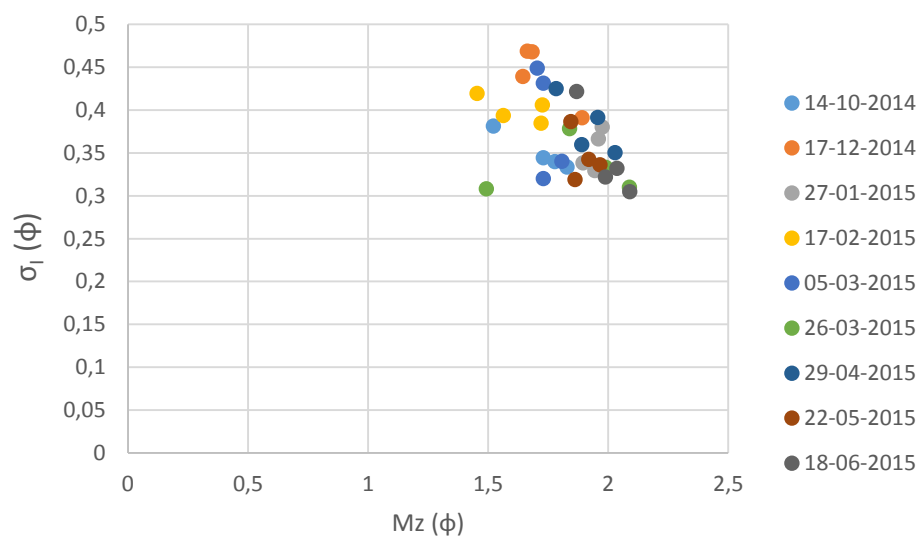


Figura VI. 36 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução temporal de Mz vs. σ_1 .

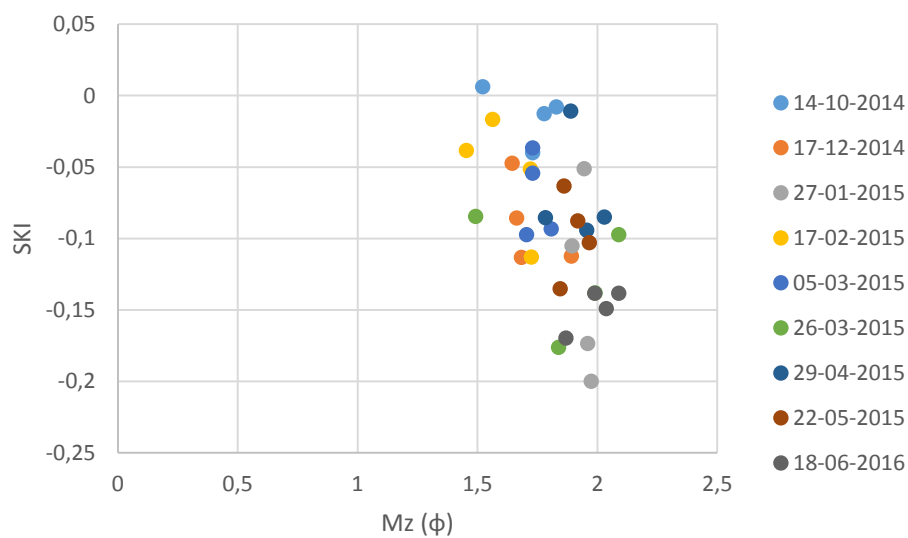


Figura VI. 37 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução temporal de Mz vs. SKI .

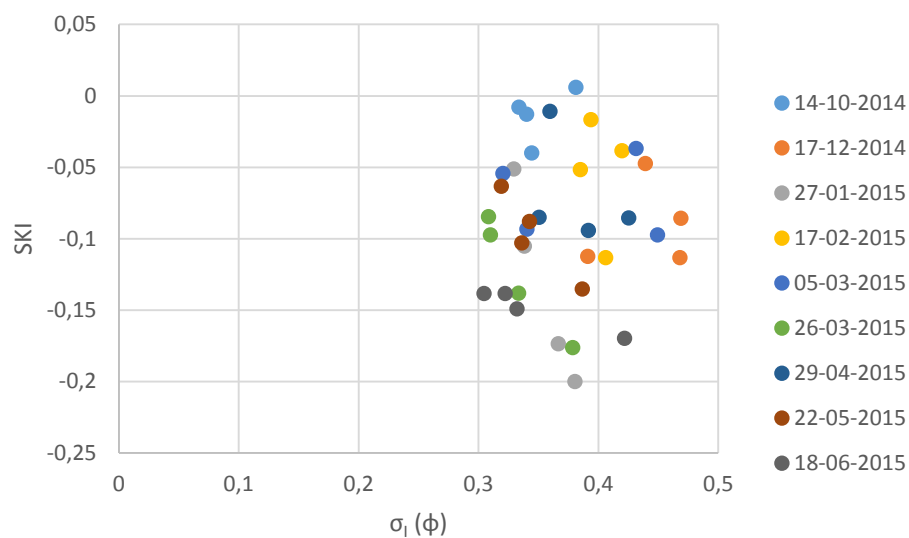


Figura VI. 38 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Santo Amaro. Evolução temporal de σ_1 vs. SKI.

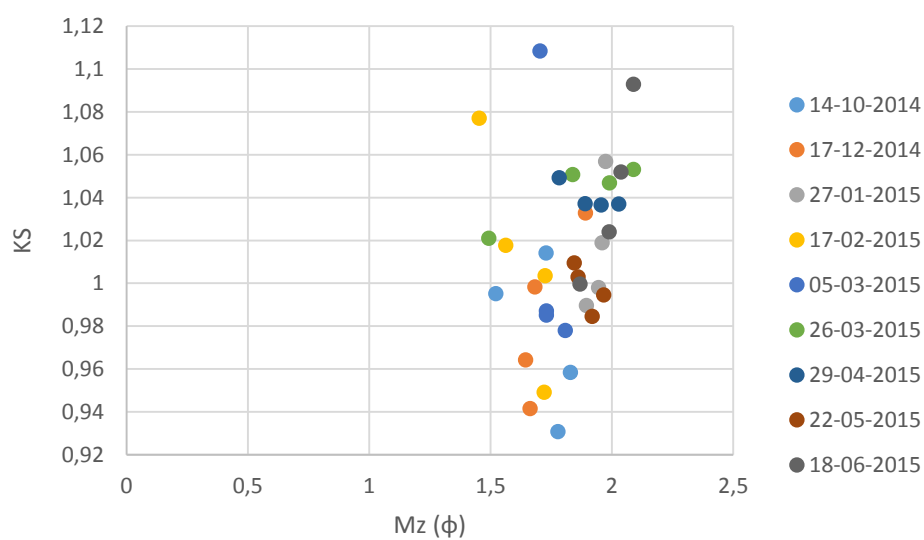


Figura VI. 39 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução temporal de Mz vs. KS.

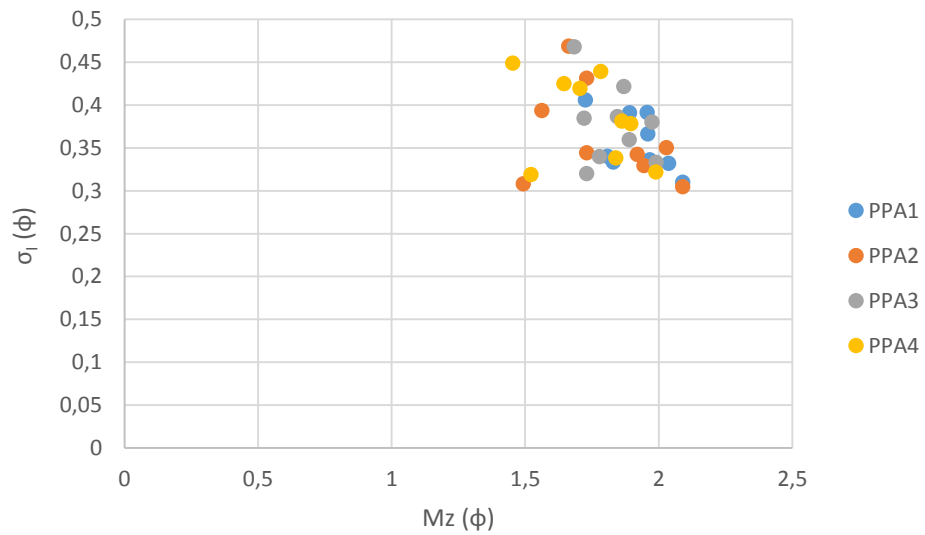


Figura VI. 40 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução espacial de Mz vs. σ_1 .

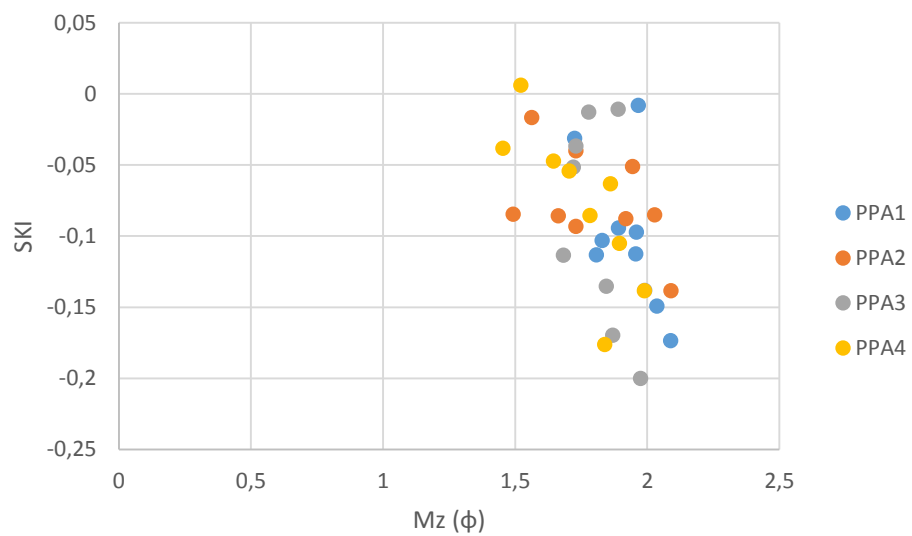


Figura VI. 41 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução espacial de Mz vs. SKI .

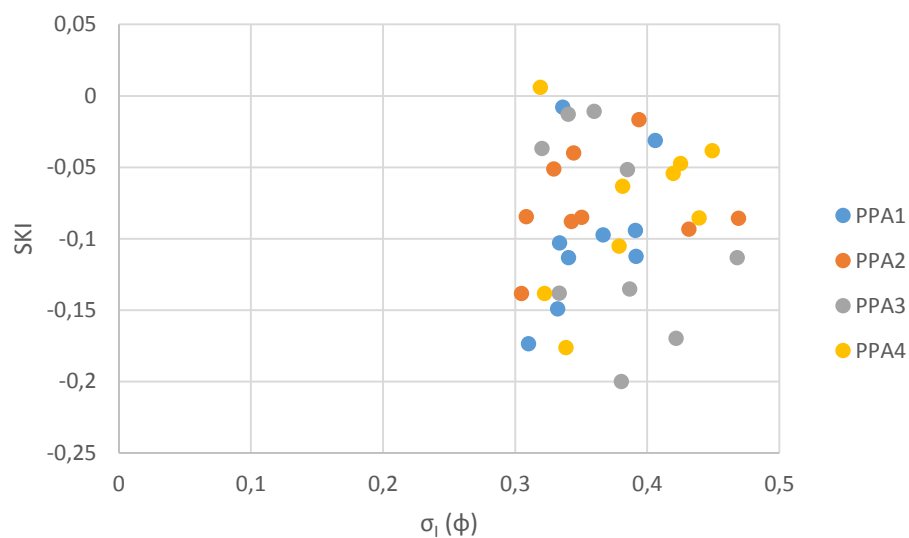


Figura VI. 42 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução espacial de σ vs. SKI..

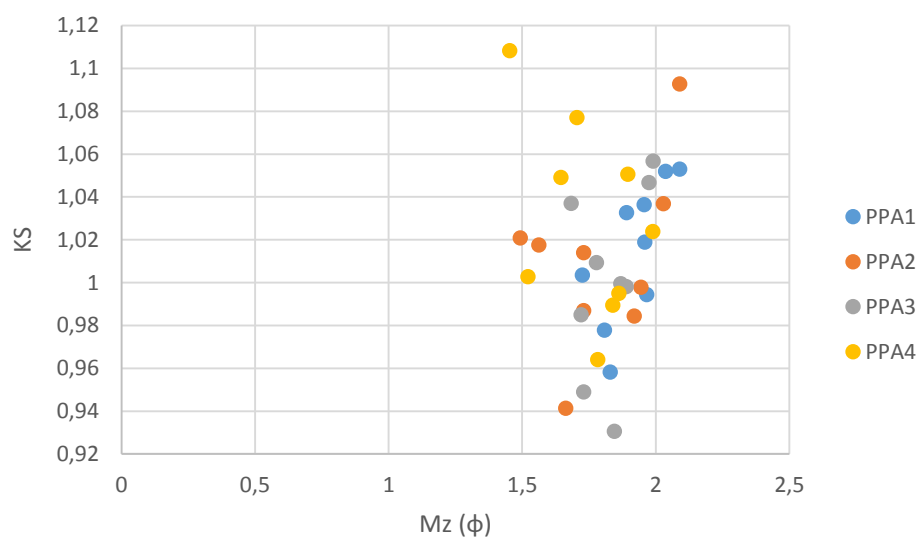


Figura VI. 43 - Caracterização textural das amostras de sedimento da praia de Paço d'Arcos. Evolução espacial de Mz vs. KS.

Na Figura VI.44 estão representados os campos correspondentes às curvas granulométricas das amostras da face de praia, berma e lomba. Dado o elevado número de amostras, foram traçados os polígonos envolventes das curvas granulométricas de modo a facilitar a comparação entre sedimento das estruturas morfológicas analisadas.

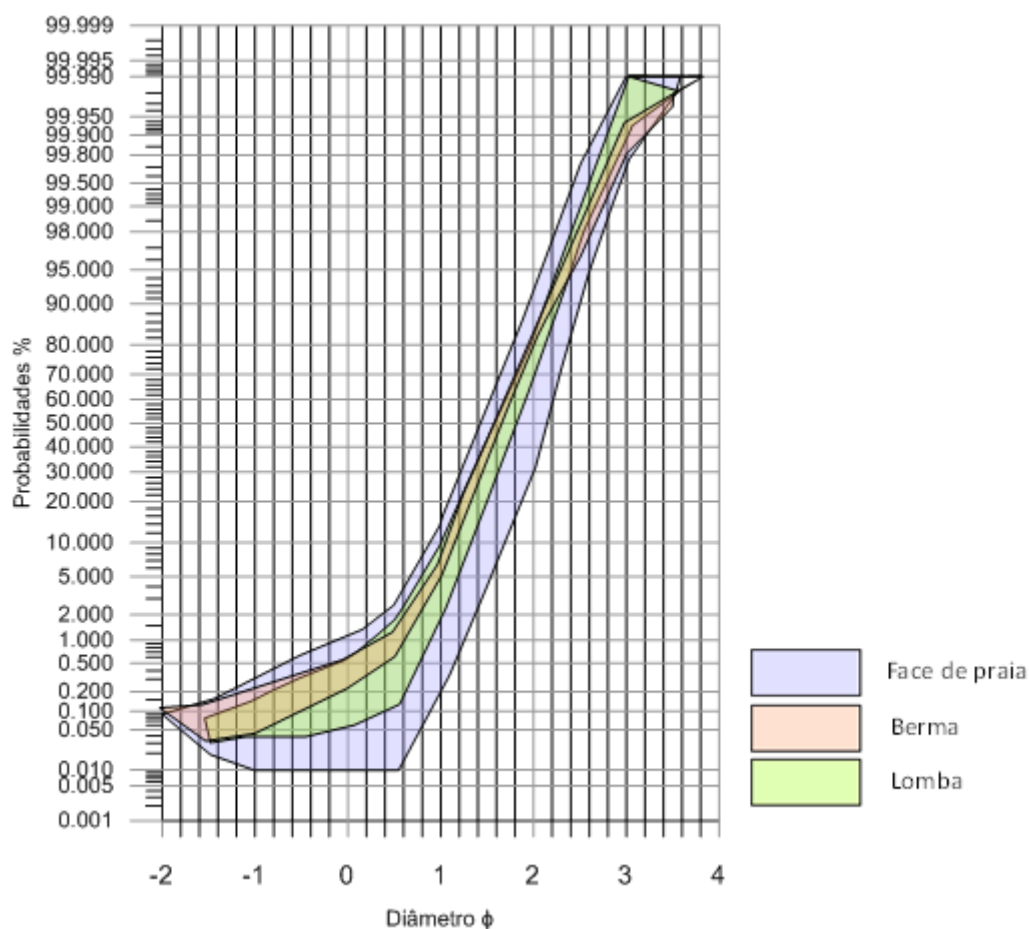


Figura VI. 44 - Representação dos polígonos envolventes das curvas granulométricas da Lomba, Face e Berma de Praia.

Nas amostras da face de praia é possível distinguir duas subpopulações, sendo que a predominante, com cerca de 95% de cada amostra, é a de transporte por saltação. A subpopulação de tração/rolamento é geralmente inferior a 5%.

A subpopulação predominante apresenta dimensões que variam de 0 a 3ϕ , e a dos mais grosseiros, transportados por tração/rolamento de 0 a -2ϕ .

Relativamente às amostras recolhidas sobre a berma e sobre a lomba no sopé da face de praia, também é possível identificar duas classes populacionais (tração/rolamento e saltação), podendo-se verificar que a inclinação do segmento da curva representativa da população transportada por saltação é idêntica à das amostras recolhidas na face de praia. Este resultado demonstra uma homogeneidade textural entre os sedimentos da baixa praia (face de praia e lomba).

VI.2.2.1 - Calcimetrias

Os resultados obtidos das calcimetrias realizadas nas areias recolhidas na praia de Paço d'Arcos indicam que estas são pouco carbonatadas a carbonatadas (Tabela VI. 8). É de referir que o carbonato de cálcio nestas amostras tende a surgir predominantemente em fragmentos de conchas ou em litoclastos de calcário, normalmente de dimensões superiores a $-0,5\phi$, existindo sempre uma predominância clara dos bioclastos sobre os litoclastos.

No que diz respeito à sua variação temporal, verifica-se que nas campanhas realizadas em Dezembro e em Abril o teor em carbonato de cálcio das areias foi mais elevado relativamente às restantes campanhas, mas estes máximos associam-me também ao aumento do espectro de valores de CaCO_3 de areias colhidas no mesmo perfil em diferentes domínios morfossedimentares (Figura VI. 45).

Tabela VI. 8 - Resultados das calcimetrias realizadas nas amostras de sedimentos da face de praia da praia de Paço d'Arcos.

	%CaCO ₃			
	PPA1 FP	PPA2 FP	PPA3 FP	PPA4 FP
14-10-2014	12,6	12,2	10,8	16,5
17-12-2014	22,3	15,4	13,4	21,2
27-01-2015	13,1	14,4	15,7	14,4
17-02-2015	14,8	17,9	11,6	21,4
05-03-2015	10,5	11,3	12,9	12,0
26-03-2015	17,1	17,7	9,3	11,4
29-04-2015	21,7	16,4	15,2	24,6
22-05-2015	18,0	14,3	19,1	12,2
18-06-2015	15,3	10,4	15,6	13,8

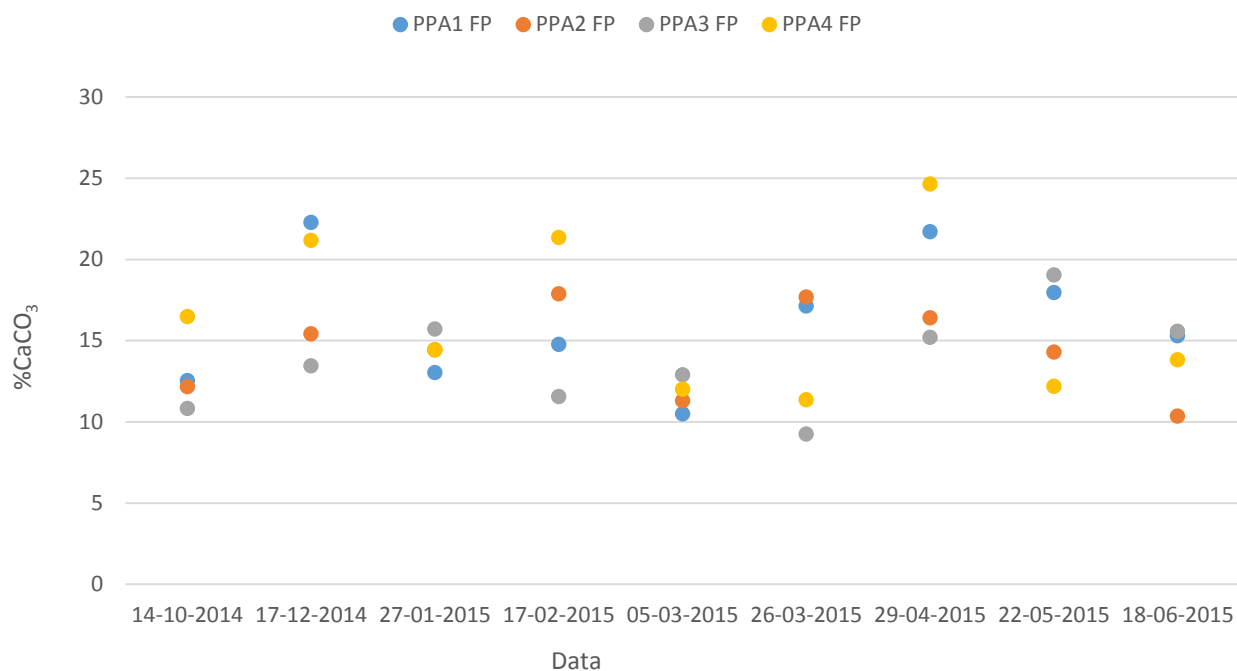


Figura VI. 45 - Variação temporal do teor em carbonato de cálcio das amostras de sedimentos da praia de Paço d'Arcos.

Relativamente à sua variação espacial verifica-se que os perfis extremos (PPA1 e PPA4) apresentam tendencialmente teores de carbonato de cálcio 2% superiores aos restantes perfis (Figura VI. 46).

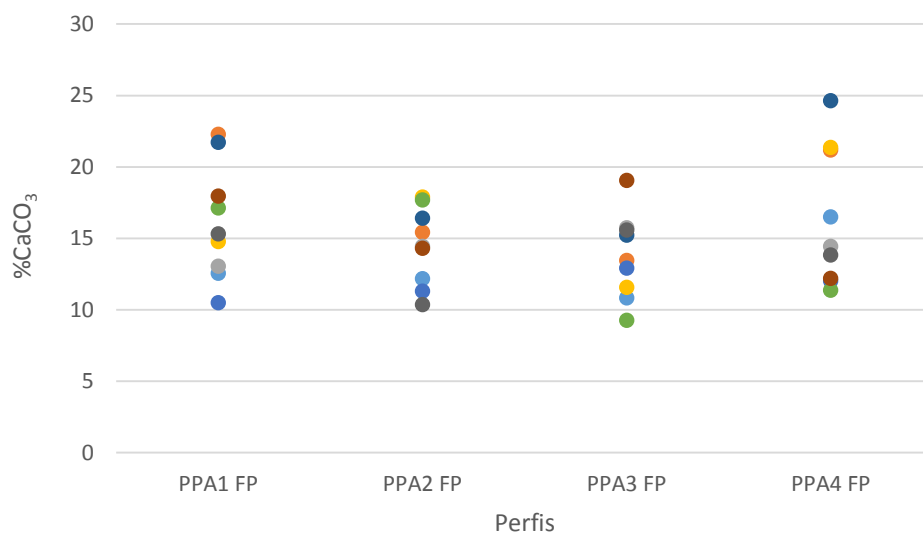


Figura VI. 46- Variação espacial do teor em carbonato de cálcio das amostras de sedimentos da praia de Paço d'Arcos.

Relativamente às amostras recolhidas sobre a berma e sobre a lomba localizada no sopé da face de praia, não se verificou nenhuma diferença significativa em relação ao seu teor em carbonato de cálcio (Tabela VI. 9).

Tabela VI. 9 - Resultados das calcimetrias realizadas nas amostras de sedimentos da berma e lomba da praia de Paço d'Arcos.

%CaCO ₃							
PPA1 B	PPA2 B	PPA3 B	PPA4 B	PPA1 L	PPA2 L	PPA3 L	PPA4 L
11,88	14,86	16,40	16,49	12,36	19,96	18,71	14,57

Assim, as amostras representativas da berma apresentam um teor em carbonato de cálcio que varia de 11,9% a 16,5% podendo assim ser caracterizadas como pouco carbonatadas a carbonatadas.

As amostras recolhidas sobre a lomba apresentam teores de carbonato de cálcio que variam de 12,4% a 20,0%, podendo assim ser classificadas como pouco carbonatadas a carbonatadas.

Estas amostras apenas foram recolhidas numa única campanha (14 de Outubro), não contribuindo assim para a caracterização geral da praia.

VI.2.3 - Morfologia, morfodinâmica e retenção volumétrica

Com o objetivo de calcular os volumes erodidos e depositados em cada um dos perfis de praia monitorizados na praia de Paço d'Arcos, foram calculados os volumes retidos em cada perfil e as diferenças volumétricas entre cada duas campanhas sucessivas (Tabelas VI. 10, VI. 11 e VI. 12 e Figura VI. 47).

Relativamente à variação observada no perfil PPA1 verifica-se, de um modo geral, que o seu balanço volumétrico foi positivo (11,34%) tendo o seu volume aumentado em cerca de 15,78m³/m. As variações calculadas são pouco significativas, correspondendo a maior a um ganho de 6,25% no dia 26 de Março de 2015.

No perfil PPA2 as variações volumétricas foram também pouco significativas (variação máxima de 4,74%). Quanto ao seu balanço volumétrico final registou-se um ganho de 12,89m³/m, correspondendo este valor a 7,24% do seu volume médio.

Relativamente ao PPA3, a maior variação volumétrica registada foi em Junho, onde se verificou uma diminuição de 8,77% relativamente à média. Nas campanhas anteriores registaram-se pequenos episódios de erosão e deposição provocando variações volumétricas de menor amplitude (entre 3,56% e -1,43%). Neste perfil obteve-se um balanço final de -4,26% correspondendo este valor a uma perda volumétrica de 8,38 m³/m.

No perfil PSA4 verificou-se, em Janeiro, um ganho volumétrico de 11,03%, e no início do mês de Março uma perda de 7,93%.

De um modo geral o seu volume aumentou em 12,92% relativamente à média, correspondendo este valor a um ganho volumétrico na ordem dos 21,05m³/m.

Tabela VI. 10 – Retenção volumétrica por unidade de comprimento de costa [m³/m], nos diferentes perfis.

Datas das Campanhas		PPA1	PPA2	PPA3	PPA4
	22-10-2014	127,08	172,59		
	17-12-2014	126,75	171,76	192,27	149,42
	27-01-2015	133,77	174,61	199,28	167,39
	17-02-2015	137,20	183,05	196,47	166,27
	05-03-2015	142,31	174,72	198,24	153,34
	26-03-2015	151,01	182,97	200,91	162,07
	29-04-2015	145,75	176,44	200,86	164,55
	22-05-2015	145,97	181,26	201,13	169,84
	18-06-2015	142,82	185,48	183,89	170,47
	Volume médio	139,19	178,10	196,63	162,92

Tabela VI. 11 – Variação do volume de areia retido nos perfis da praia de Paço d'Arcos [m³/m].

Data	Variação volumétrica em m³			
	PPA1	PPA2	PPA3	PPA4
22-10-2014				
17-12-2014	-0,33	-0,83		
27-01-2015	7,02	2,85	7,01	17,97
17-02-2015	3,43	8,44	-2,81	-1,13
05-03-2015	5,11	-8,33	1,77	-12,92
26-03-2015	8,70	8,25	2,67	8,73
29-04-2015	-5,26	-6,53	-0,05	2,48
22-05-2015	0,22	4,83	0,27	5,28
18-06-2015	-3,15	4,22	-17,24	0,63

Tabela VI. 12 - Variação do volume de areia retido nos perfis da praia de Paço d'Arcos (% do valor médio).

Data	Variação Volumétrica (%)			
	PPA1	PPA2	PPA3	PPA4
22-10-2014				
17-12-2014	-0,24	-0,47		
27-01-2015	5,06	1,61	3,53	11,10
17-02-2015	2,47	4,76	-1,42	-0,70
05-03-2015	3,68	-4,70	0,89	-7,99
26-03-2015	6,27	4,66	1,35	5,39
29-04-2015	-3,79	-3,69	-0,03	1,53
22-05-2015	0,16	2,73	0,14	3,26
18-06-2015	-2,27	2,38	-8,69	0,39
Balanco final	11,34	7,28	-4,22	13,01

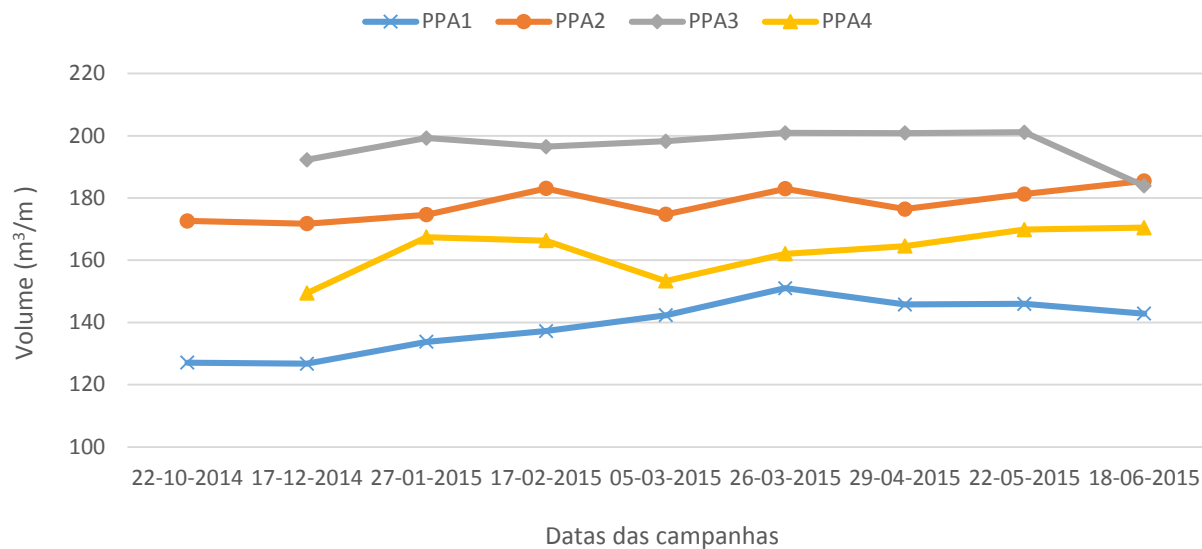


Figura VI. 47 - Variação do volume de areia nos perfis da praia de Paço d'Arcos [m³/m].

Admitindo que o volume calculado em cada perfil é representativo de uma área limitada pela meia distância entre cada dois perfis adjacentes (e pelos limites da praia, no caso dos perfis extremos), foi possível fazer uma estimativa do volume total da praia em cada campanha (Figura VI. 48).

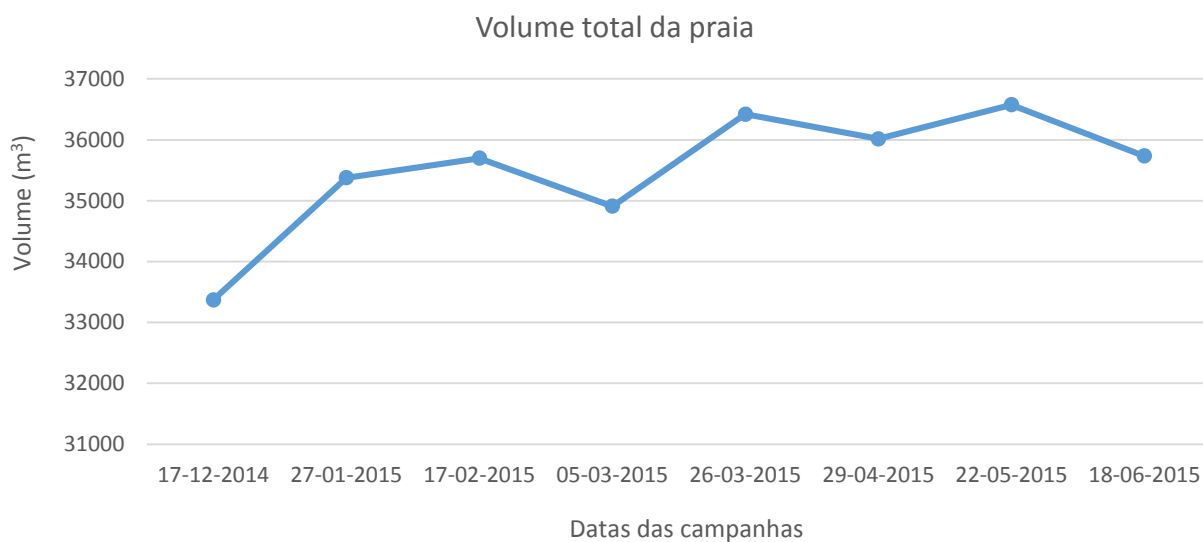


Figura VI. 48 - Variação temporal do volume total de areia da praia de Paço d'Arcos.

Tabela VI. 13 - Variação total do volume de areia na praia de Paço d'Arcos.

Data	Volume da Praia (m³)	Variação volumétrica (m³)	Variação volumétrica (%)
22-10-2014			
17-12-2014	33370,88		
27-01-2015	35376,18	2005,31	5,65
17-02-2015	35697,49	321,31	0,90
05-03-2015	34909,22	-788,28	-2,22
26-03-2015	36420,86	1511,64	4,26
29-04-2015	36015,80	-405,06	-1,14
22-05-2015	36575,23	559,43	1,58
18-06-2015	35734,22	-841,01	-2,37

Assim, é possível observar que o balanço volumétrico final da praia é positivo, tendo sido registado, até ao final das campanhas de campo realizadas, um ganho volumétrico de 6.65% relativamente ao seu valor médio, correspondendo este valor a um aumento de 2361.58 m³.

No decorrer do trabalho de campo foram registados três momentos de perda sedimentar, todos eles de pequena magnitude (Tabela VI. 13).

Através dos modelos digitais de terreno elaborados para as campanhas em que foram realizados levantamentos topográficos integrais, foi também calculado o volume total da praia (Tabela VI. 14).

Deste modo é possível verificar a credibilidade dos valores anteriormente obtidos.

Tabela VI. 14 - Volume total da areia da praia de Paço d'Arcos calculado através dos MDT's.

Data	Volume da Praia (m³)
27-01-2015	32934,4
26-03-2015	42715,0

Apesar de ligeiramente diferentes, podemos verificar que a ordem de grandeza é a mesma, conferindo assim confiança nos resultados anteriormente obtidos.

CAPÍTULO VII - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

VII.1 - Caracterização morfodinâmica

As praias exibem perfis cuja morfologia varia ao longo do tempo, em função das solicitações hidrodinâmicas e também do conteúdo sedimentar. Para além de uma morfologia mais frequente, conhecida como estágio modal, uma praia pode reorganizar-se do ponto de vista morfológico, temporariamente, em resposta a variações também temporárias do forçamento oceanográfico ou do abastecimento sedimentar.

Perfil Dissipativo

O perfil extremamente dissipativo (também conhecido como perfil de tempestade ou de inverno) é produzido pelas condições de agitação mais intensas. Este tipo de perfil é característico de praias com areia fina e exibe face de praia ampla e pouco inclinada (Wright and Short, 1984) ($\tan \beta = 0,01-0,02$). Existe transferência de sedimento da zona subaérea do perfil e acumulação na zona submarina da praia levando à formação de bancos de rebentação paralelos à linha de costa, na praia submarina.

Este tipo de perfil favorece a dissipação precoce de energia, antecipando a rebentação das ondas. A evolução para este estado morfodinâmico associa-se a transporte transversal de sedimento preferencial no sentido Terra-Mar.

Perfil Refletivo

O perfil altamente refletivo não apresenta quaisquer elementos dissipativos, observando-se diminuição ou desaparecimento dos bancos de rebentação na praia submarina. Esta tipologia de perfil é caracterizada pela existência de, pelo menos, uma berma, ampla, e por uma face de praia e fundos submarinos próximos relativamente inclinados (Wright and Short, 1984) ($\tan \beta = 0,1- 0,15$), compatíveis com agitação de baixa energia. A linha de água apresenta-se frequentemente crenulada por lobos de praia, em sistemas simples ou múltiplos.

Neste estado morfodinâmico o transporte sedimentar ocorre preferencialmente no sentido Mar-Terra, pelo que ele pode ser alcançado após um temporal, á custa da migração de barras de espalho que poderão, em última instância, soldar-se aos segmentos mais elevados do perfil, favorecendo o desenvolvimento da berma.

Perfis Intermédios

Segundo Short (1999), entre os dois estados morfodinâmicos extremos, totalmente dissipativo e totalmente refletivo, existe um contínuo morfodinâmico que pode ser dividido em quatro estádios intermédios, sendo eles: Perfil de barra longitudinal-cava, perfil de barras em

crescente, perfil de barras transversais e perfil de lomba-banal ou terraço de baixa-mar. Em todos eles os elementos refletivos e dissipativos coexistem, facto que lhes confere uma maior complexidade morfológica bem como dos processos que neles ocorrem.

VII.2 - Parâmetro de *Dean*

Para caracterizar e quantificar a variabilidade morfodinâmica das praias de Santo Amaro e de Paço d'Arcos foi calculado o parâmetro empírico adimensional Ω , referido na literatura como parâmetro de *Dean* utilizando a seguinte equação (Gourlay, 1968):

$$\Omega = \frac{H_b}{WsT}$$

Onde,

H_b - Corresponde à altura de onda na rebentação. Neste caso particular foi utilizada a média da altura significativa das ondas registadas nas 12 horas anteriores à realização das campanhas de campo. Esta variável é indicadora da densidade de energia incidente.

T - Corresponde à média do período das ondas registadas nas 12 horas anteriores à realização das campanhas de campo, sendo esta variável um *proxy* da velocidade de grupo das ondas.

Ws - Parâmetro hidráulico do sedimento. É um *proxy* do diâmetro médio e corresponde à velocidade de sedimentação (m/s) (calculada através da equação presente no site <http://onlinecalc.sdsu.edu/onlinefallvelocity.php>.)

O parâmetro de Dean pode ser utilizado como elemento de quantificação e avaliação de estados de equilíbrio/desequilíbrio morfodinâmico. Segundo Short (1999), o parâmetro Ω permite-nos caracterizar objetivamente os quatro estádios intermédios existentes entre os dois estados extremos, bem como estes últimos.

Na Tabela VII. 1 a encontram-se expressas as relações entre Ω , e a variabilidade morfodinâmica de praias de areia.

Tabela VII. 1 - Relações entre Ω , e a variabilidade morfodinâmica de praias de areia.

$\Omega < 1$	Altamente Reflectiva	Valores de declive acentuados e ausência de bancos de rebentação.
$1 < \Omega < 6$	Estádios intermédios/de transição	Alguns bancos de rebentação organizados de diferente modo.
$\Omega > 6$	Totalmente Dissipativos	Declives baixos e sistemas múltiplos de bancos de rebentação.

Utilizando a equação acima referida foi então calculado o parâmetro Ω para cada uma das campanhas, com os resultados sumariados nas Tabelas VII. 2 e VII. 3.

Tabela VII. 2 - Valores do parâmetro de Dean para a praia de Santo Amaro.

Santo Amaro									
Ω	22-out	10-dez	19-jan	17-fev	05-mar	26-mar	29-abr	22-mai	18-jun
	1,08	0,56	1,11	0,55	0,75	0,41	0,31	0,66	0,70

Tabela VII. 3 - Valores do parâmetro de Dean para a praia de Paço d'Arcos.

Paço d'Arcos									
Ω	10-out	17-dez	27-jan	17-fev	05-mar	26-mar	29-abr	22-mai	18-jun
	0,71	0,82	1,16	0,42	0,82	0,58	1,21	0,64	1,12

Em ambas as praias, os valores de Ω variam essencialmente entre <1 (estádio morfodinâmico altamente reflectivo), e 1,2 (estádio de transição mais próximo do extremo reflectivo), nunca atingindo o estado dissipativo.

Uma vez que ambas as praias se encontram abrigadas à agitação típica do largo, as ondas que chegam às praias não ultrapassam, geralmente 1m de altura. Assim, o parâmetro Ω apenas tomaria valores mais elevados em situações de tempestade, onde o H_b seria mais elevado.

VII.3 - Surf scaling index

Foi também calculado o parâmetro adimensional ξ , denominado de *Surf scaling index* através da seguinte expressão:

$$\xi = (\alpha \sigma^2) / (g \tan^2 \beta)$$

Onde,

α – Corresponde à média da amplitude das ondas registadas nas 12 horas anteriores à realização das campanhas de campo.

σ – Corresponde à frequência angular das ondas, em radiano ($2\pi/T$)

g – Constante gravitacional (= 9,8 m/s).

β – Declive da face de praia (em °).

Na Tabela VII. 4 encontram-se expressas as relações entre ξ , e a variabilidade morfodinâmica propostas por Guza and Inman (1975).

Tabela VII. 4- Relações entre ξ , e a variabilidade morfodinâmica de praias de areia.

0,1-2,5	Altamente Reflectiva
2,5-20	Estádios intermédios/de transição
20-200	Totalmente Dissipativos

Utilizando a equação acima referida foi então calculado o parâmetro ξ para cada uma das campanhas, de modo a complementar os dados anteriormente obtidos. Para cada umas das praias em estudo foram obtidos os resultados sumariados nas Tabelas VII. 5 e VII. 6.

Tabela VII. 5 - Valores de Surf scale index para a praia de Santo Amaro.

Santo Amaro									
ξ	22-out	10-dez	19-jan	17-fev	05-mar	26-mar	29-abr	22-mai	18-jun
	1,22	0,44	1,11	1,00	0,77	0,40	0,14	0,87	0,88

Tabela VII. 6 - Valores de Surf scale index para a praia de Paço d'Arcos.

Paço d'Arcos									
ξ	10-out	17-dez	27-jan	17-fev	05-mar	26-mar	29-abr	22-mai	18-jun
	0,61	1,64	1,98	1,66	1,04	0,98	1,10	1,10	1,56

Observando os resultados obtidos pode-se verificar que estes são concordantes com os derivados do parâmetro de *Dean*, uma vez que todos os valores obtidos correspondem ao estágio morfodinâmico altamente reflectivo.

VII.4 - *Beach cusps*

Em ambas as praias estudadas foram observadas, na maioria das campanhas, estruturas rítmicas conhecidas como *beach cusps* ou ‘lobos de praia’, afectando a parte externa da berma e a região superior da face de praia.

Estas estruturas são depósitos de sedimento de praia em forma de cúspide, formados pela ação das ondas rebentadas sobre uma morfologia herdada, uma vez que as cristas são acumulações sedimentares, e as cavas não representam erosão significativa (Komar, 1976).

Uma característica importante destas estruturas é o facto de as cristas serem constituídas por material mais grosseiro do que as cavas, levando a uma seleção do material da praia por tamanhos.

A formação destas estruturas, apesar de ser um tema de elevado interesse na comunidade científica é ainda mal compreendida (Komar, 1976).

Atualmente, o mecanismo mais aceite para a formação das *beach cusps* encontra-se relacionado com a interação das ondas incidentes com ondas estacionárias aprisionadas na região de espelho (“edge waves” ou “ondas de cunha”), explicando assim a sua regularidade espacial (Short, 1999).

Assim, quando as ondas de cunha se encontram em fase com as ondas incidentes intensificam o espraio sobre a face de praia. Por outro lado, quando estas se encontram desfasadas das ondas incidentes, o alcance do espraio vai ser menor, permanecendo uma maior porção da face de praia seca em cada rebentação.

Devido a este padrão sistemático de variações na intensidade do espraio ao longo da costa, o sedimento vai sendo distribuído e reorganizado numa série de lobos de praia.

Dolan e Ferm (1968) desenvolveram uma classificação baseada no seu espaçamento, que permite distinguir três tipos de *beach cusps*: *Typical beach cusps* (8 a 25m); *storm cusps* (70 a 120m) e *giant cusps* (70-1500m).

Observando os MDT’s realizados com os dados dos levantamentos topográficos, tanto da praia de Santo Amaro como da praia de Paço d’Arcos, podemos verificar que estas formas distam entre si aproximadamente de 60m, sendo assim classificadas entre *Typical beach cusps* e *storm cusps*.

VII.5 - Energia, declive da face de praia e tamanho dos grãos

A energia das ondas incidentes sobre a praia, o diâmetro médio das partículas sedimentares e a inclinação da face de praia são variáveis interdependentes.

O diagrama de Wiegel-Bascom relaciona o regime energético da praia, com o tamanho dos grãos e com o declive da face de praia (Figuras VII. 1 e VII.2). Para o mesmo regime energético, é de esperar que as praias com grãos mais grosseiros apresentem uma maior inclinação da face. Por outro lado, em praias com igual granularidade de sedimento, um regime de agitação progressivamente mais energético provoca uma diminuição daquela inclinação.

Projetando os pares: declive da face de praia/diâmetro médio dos grãos no diagrama de Wiegel-Bascom, observa-se que os pontos figurativos da praia de Santo Amaro e da praia de Paço d'Arcos, se localizam abaixo da curva de equilíbrio para praias de alta energia e se distribuem em torno da curva das praias de baixa energia.

Observando a distribuição dos pontos representados no gráfico da Figura VII. 1, pode-se verificar que estes não apresentam nenhuma distribuição alongada segundo o eixo das abcissas ou ordenadas, o que nos permite inferir que a variabilidade sazonal da praia de Santo Amaro seja expressa por pequenas variações, quer no declive de face de praia, quer no diâmetro médio dos grãos de areia que a povoam.

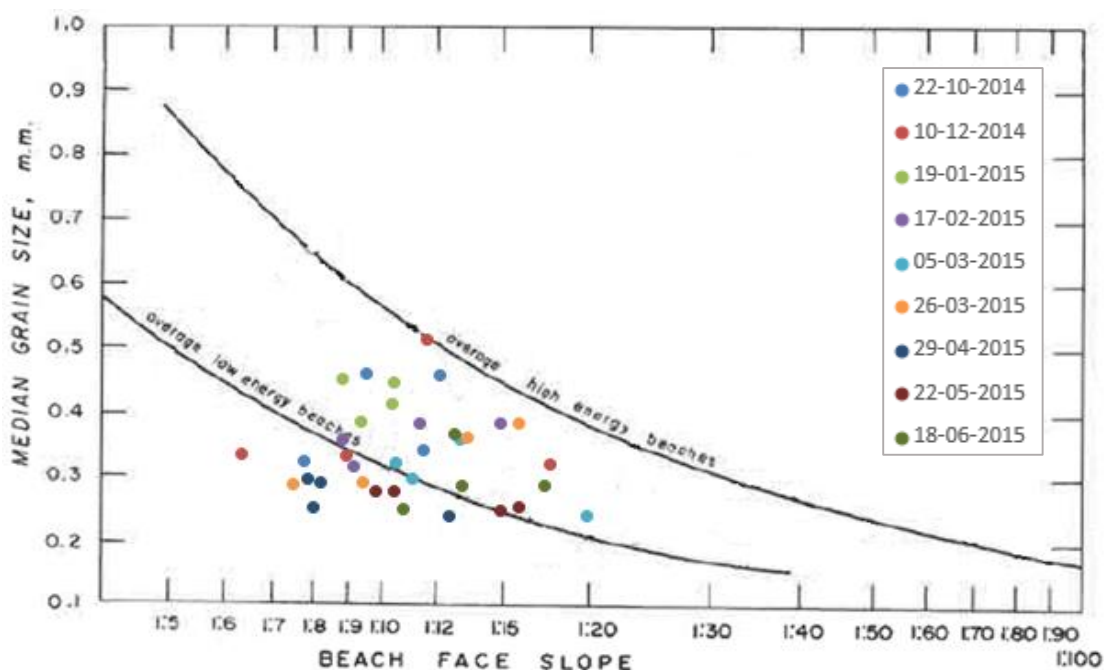


Figura VII. 1 – Projeção dos pontos figurativos de cada perfil da praia de Santo Amaro no diagrama de Wiegell-Bascom, que correlaciona a inclinação da face de praia com o tamanho médio dos grãos (mm). Adaptado de Komar, 1976.

Relativamente à praia de Paço d’Arcos, pode-se verificar que a nuvem de pontos apresenta uma geometria mais achatada, alongada paralelamente ao eixo das abcissas (Figura VII. 2).

Pode então concluir-se que a variabilidade sazonal desta praia é sobretudo resolvida por variações na inclinação da face de praia, sendo que as alterações a nível textural são muito pouco significativas.

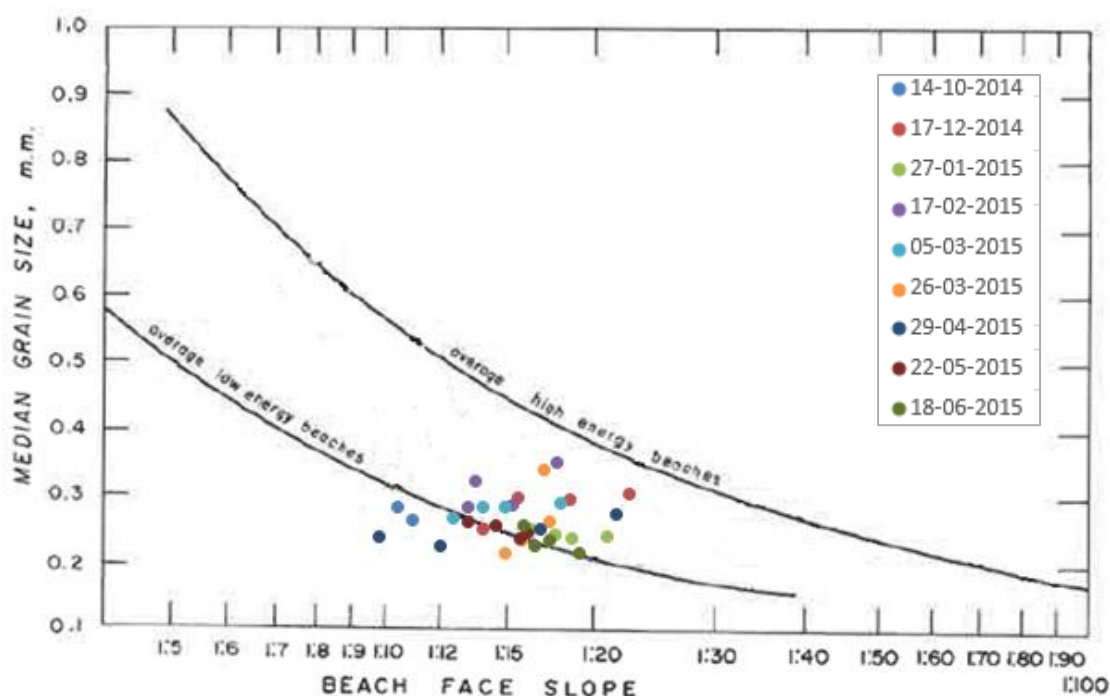


Figura VII. 2 - Projeção dos pontos figurativos de cada perfil da praia de Paço d’Arcos no diagrama de Wiegell-Bascom, que correlaciona a inclinação da face de praia com o tamanho médio dos grãos (mm). Adaptado de Komar, 1976.

VII.6 - Agitação na zona costeira vs. morfologia

a) Identificação dos eventos de tempestade

De modo a estudar quais os efeitos da agitação marítima sobre a morfologia das praias estudadas, foram identificados os diferentes episódios de tempestade que ocorreram no período em estudo. A identificação dos temporais nas séries de agitação marítima, anteriormente descritas, baseou-se na altura significativa das ondas. Segundo Costa (1995) os períodos de temporal na costa W de Portugal caracterizam-se por ondas com $H_s \geq 4,5\text{m}$, em águas profundas.

Observando a distribuição temporal da altura significativa obtida na boia ondógrafo de Leixões, e utilizando este critério, é possível verificar a ocorrência de diversos períodos de agitação de tempestade (Figura VII. 3 e Tabela VII. 7).

	Hs (m)		
Data	Leixões	SA	PA
15-10-2014	4.81	1.10	0.89
16-10-2014	5.25	1.12	0.83
03-11-2014	4.66	0.80	0.67
04-11-2014	5.15	0.79	0.69
05-11-2014	4.54	0.77	0.68
08-11-2014	5.31	0.92	0.77
09-11-2014	5.08	0.84	0.72
11-11-2014	5.16	1.08	0.84
12-11-2014	5.79	1.12	0.85
13-11-2014	4.59	1.38	1.04
14-11-2014	5.26	1.07	0.83
15-11-2014	5.22	1.09	0.84
16-11-2014	4.99	0.95	1.07
19-11-2014	4.57	1.00	0.81
20-11-2014	4.55	1.01	0.82
23-11-2014	4.90	0.87	0.75
28-11-2014	5.20	1.10	0.82
29-11-2014	4.91	1.09	0.81
02-12-2014	4.73	0.73	0.65
11-12-2014	6.28	1.21	0.90
12-12-2014	5.07	1.04	0.83
13-12-2014	4.54	0.86	0.75
09-01-2015	4.54	0.98	0.81
12-01-2015	4.62	0.86	0.74
14-01-2015	4.83	0.99	0.80
15-01-2015	6.81	1.13	0.87
16-01-2015	6.16	1.16	0.86
17-01-2015	5.38	1.13	1.00
18-01-2015	4.84	1.33	1.01
19-01-2015	4.58	0.82	0.69
20-01-2015	4.58	1.07	0.83
21-01-2015	5.83	1.14	0.88
22-01-2015	5.26	0.98	0.82
30-01-2015	5.09	0.88	0.76
31-01-2015	5.03	0.87	0.72
01-02-2015	6.81	0.68	0.63
03-02-2015	4.64	0.69	0.61
24-02-2015	6.84	1.22	0.90
25-02-2015	5.20	1.07	1.07
04-05-2015	4.73	1.54	1.07

Tabela VII. 7 - Episódios de agitação extrema ocorridos durante o período de monitorização considerado.

Foram identificados 17 episódios de agitação extrema, sendo que aqueles cuja duração foi maior ocorreram de 11 a 16 de Novembro de 2014 e de 14 a 22 de Janeiro de 2015.

Como seria de prever, o número de dias de temporal é maior no Inverno marítimo, registando-se uma única ocorrência de Hs superior a 4,5m nos meses de verão marítimo.

Uma vez que ambas as praias se encontram bastante abrigadas da agitação típica do largo, as ondas que chegam às praias geralmente não ultrapassam, nem em situações de tempestade, 1,5m e 1m de altura em Santo Amaro e Paço d'Arcos, respetivamente (Tabela VII. 7).

b) Relação com a morfologia

Santo Amaro

Os levantamentos topográficos realizados não registaram evidências do evento de alta energia que decorreu em Novembro, talvez por não ter sido realizada nenhuma campanha numa data próxima (o levantamento seguinte decorreu 1 mês depois).

De 19 de Janeiro a 17 de Fevereiro decorreu um período de erosão, evidenciado por uma diminuição do *stock* sedimentar (a maior registada), levando à transição de um estágio morfodinâmico totalmente refletivo, para um estágio intermédio. Esta transição foi confirmada não só com os dados recolhidos no campo, mas também pelo aumento do parâmetro de *Dean*.

Outro período em que ocorreu uma perda sedimentar, de menor amplitude, foi de 17 de Fevereiro a 5 de Março, sendo também esta acompanhada por um ligeiro aumento do parâmetro de *Dean*. Após este período de agitação marítima mais intensa, a praia apresentou um comportamento de recuperação volumétrica regular, um vez que se se entrou num estado de mais baixa energia.

Este estado energético mais baixo apenas foi interrompido nas duas últimas campanhas em que se verificou uma perda volumétrica assinalável (11,72%). Apesar de nessas mesmas campanhas se ter registado um ligeiro aumento do parâmetro de *Dean*, a praia continua com características claramente refletivas, como seria de esperar nesta altura do ano.

Paço d'Arcos

Também na praia de Paço d'Arcos não foram observadas evidências das condições de agitação extremas que se registaram em Novembro, tendo apenas sido registados três momentos de perda sedimentar no período em que decorreu a monitorização.

Uma vez que todos eles representam perdas de pequena magnitude, não é possível estabelecer, com confiança, uma relação entre estes e os episódios de mais alta energia das ondas.

Apenas se pode constatar que o primeiro episódio de perda sedimentar (17 de Fevereiro a 5 de Março) é coincidente com um clima de agitação marítima mais vigoroso.

Também nesta praia se verificou uma perda sedimentar na última campanha realizada bem como uma transição de um estágio morfodinâmico claramente refletivo para um estágio intermédio, com algumas características dissipativas.

CAPÍTULO VIII - SÍNTESE

A praia de Santo Amaro de Oeiras situa-se na freguesia de Oeiras e São Julião da Barra, concelho de Oeiras, e apresenta uma forma trapezoidal, alongada segundo ENE-WSW. O seu areal tem cerca de 800 metros de comprimento, e uma largura que varia de 50 a 100 metros.

A praia de Paço d'Arcos pertence à vila de Paço d'Arcos, também pertencente ao concelho de Oeiras, e também ela apresenta uma forma trapezoidal, alongada segundo NE-SW. O seu comprimento médio é de 200 metros, a largura média de 60 metros, e atualmente ocupa uma superfície de aproximadamente 9100m².

Ambas as praias se encontram sobre afloramentos do Cretácico Superior (calcários), aflorando ali também rochas pertencentes ao complexo vulcânico de Lisboa.

O clima da região estudada encontra-se na transição entre o Clima temperado com verão seco e quente e o clima temperado com verão seco e temperado. Quanto ao regime de ventos, verifica-se uma predominância dos ventos do quadrante N, nomeadamente de NW, N e NE, bem como na direção SW.

Durante o período de monitorização apenas foram registados 17 episódios de condições de agitação marítima extrema (sobretudo no Inverno marítimo). Estes não apresentam uma influência notória nas variações morfológicas observadas uma vez que as praias em estudo se encontram abrigadas da agitação ao largo. Assim, as ondas que chegam à praia de Santo Amaro não ultrapassam 1,5m de altura, e 1m na praia de Paço d'Arcos.

A resposta às variações sazonais é dada preferencial ou exclusivamente através da variação da inclinação da face de praia, que varia de 3 a 9° em Santo Amaro e de 2,6 a 5,8 em Paço d'Arcos.

Correspondem assim a praias de baixa energia, que revelaram características de um estágio morfodinâmico altamente refletivo, salvo raras exceções em que se apresentavam no estágio intermédio, onde se verificou a presença de alguns elementos dissipativos como lombas, canais e terraço de baixa-mar.

Relativamente à análise sedimentológica, verifica-se que as areias das duas praias são bastante homogéneas tanto a nível composicional como textural. Os sedimentos de ambas as praias são caracterizados, essencialmente pela presença de quartzo, bioclastos e alguns litoclastos, e correspondem a areias médias, moderadamente bem a muito bem calibradas.

As amostras recolhidas na praia de Santo Amaro revelaram um teor em carbonato de cálcio ligeiramente inferior (maioritariamente pouco carbonatadas) às amostras de sedimentos da

praia de Paço d'Arcos, onde as amostras carbonatadas e pouco carbonatadas se encontram em igual proporção.

No que diz respeito às variações volumétricas observadas, verifica-se que as praias em estudo apresentam uma boa capacidade de recuperação. Na praia de Santo Amaro as variações registadas foram sempre inferiores a 8% do volume de retenção médio observado e na praia de Paço d'Arcos inferiores a 5,6%.

Os objectivos deste trabalho inicialmente propostos foram cumpridos na sua totalidade, tendo em conta a sua duração. No entanto, muitas lacunas de informação persistem, sendo importante dar continuidade à monitorização das zonas costeiras de modo a compreender a sua morfodinâmica e tendências evolutivas a médio/longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Baize D. (1988). *Soil Sciences Analyses. A guide to current use*. John Wiley e Sons, 192 p.
- [2] Booij, N., Ris, R. e Holthuijsen, L. (1999). A third-generation wave model for coastal regions. I- Model description and validation. *Journal of Geophysical Research* 104, 7649–7666.
- [3] Carvalho, M. R. (1989). *HIDSPEC, um programa de especiação e cálculo de equilíbrios água/rocha. Aplicações*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada. Lisboa, 238 p.
- [4] Carvalho, C. 1998 - *GranGraf V 2.0 B*, Programa de Tratamento de Dados Granulométricos, F.C.U.L., Lisboa.
- [5] Costa M. (1995) – *Agitação marítima na costa Portuguesa*. Anais do Instituto Hidrográfico, nº13, pp. 35-40.
- [6] Dean, R. (1973) - *Heuristic models of sand transport in the surf zone*. In: Conference on Engineering Dynamics in the Surf Zone. Sydney, 1973. Proceedings. Sydney, Institute of Engineers, pp. 208-214.
- [7] Dias, J. – *Evolução da Zona Costeira Portuguesa: Forçamentos Antrópicos e Naturais*. Universidade do Algarve – Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, pp. 8-28.
- [8] Dodd, N., Stoker, A. M., Calvete, D. & Sriariyawat, A. (2008) - *On beach cusp formation*. J. Fluid Mech., vol. 597, pp. 145–169.
- [9] Dodet, G., Bertin, X. e Taborda, R. (2010). *Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades*. Ocean Modelling, 31 (3-4), pp. 120-131.
- [10] Dolan, R., e Ferm, J. C. (1968) – *Crescentic Landforms along the mid-Atlantic coast*: Science, Vol. 159, pp. 627-629.
- [11] Folk, R. L. e Ward, W. C. (1957) - *Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain-Size Parameters*. Journal of Sedimentary Research, 27 (1), pp. 3-26.
- [12] Fortunato, A.B., Clímaco, F.S.B.F. Oliveira, A. Oliveira, F. Sancho and P. Freire. (2008). *Dinâmica Fisiográfica da orla costeira*; Estudos de reabilitação e protecção, Revista Gestão Costeira Integrada, 8/1 pp. 45-63.

- [13] Friedman, G.M. e Sanders, J. E. (1978). *Principles of Sedimentology*. Wiley: New York, 792 p.
- [14] Galopim de Carvalho, A.M. (2005) - *Geologia Sedimentar. Volume II- Sedimentologia*. Âncora editora, 475 p.
- [15] Gourlay, M. R. (1968) – *Beach and Dune Erosion Tests*. Delf Hydraulics Laboratory, Relatório Técnico M935/M936.
- [16] Guza, R., Inman, D. (1975) - *Edge waves and beach cusps*. J. Geophys. Res. 80 (21), pp. 2997-3012;
- [17] Hayes, M.O. (1975) - *Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to the Symposium*. In: Cronin, L.E.(ed.) - *Estuarine Research*, vol.II, pp. 3 – 22. Academic press, 587 p.
- [18] Hayes, M. (1979) – *Barrier Island morphology as a function of tidal and waves regime*. In S. Leatherman (ed.) *Barrier Islands*, Academic Press, pp. 1-28.
- [19] IH – Instituto Hidrográfico (1987) – *Carta Costeira nº 37, Cabo da Roca ao Cabo Espichel*. Série de Cartas costeiras na escala 1:75000,
- [20] Komar, P. (1976) – *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice – Hall, 429 p.
- [21] Kullberg, M. C. (1985) – *Controlo estrutural na instalação do maciço de Sintra*. Bol. Soc. Geol. Portugal, Lisboa, XXIV, 219-223.
- [22] Masselink, G., Pattiaratchi, C.B. (1998) - *Morphological evolution of beach cusps and associated swash circulation patterns*. Marine Geology , vol. 146 ,pp. 93–113.
- [23] Masselink, G. et al. (2011) – *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press, UK, 439 p.;
- [24] Ramalho, M., Rey, J., Zbyszewski, G., Matos Alves, C., Palácios, T., Moitinho de Almeida, F., Costa, C. e Kullberg, M. (2001) – *Notícia Explicativa da Folha 34-C (Cascais) da Carta Geológica de Portugal*. Departamento de Geologia, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 104 p.
- [25] Ramalho, M. M. e Rey J. (1969) – *Corrélation stratigraphiques dans le couchés de passages du Jurassique ao Crétacé du Portugal*, Bol. Soc. Geol. Portugal, Lisboa, XVII (1) pp. 31-36.
- [26] Ramalho M. M., Zbyszewski, G., Alves, C. A. M., Costa, C. E Kullberg, M. C. (1981) – *Carta Geológica de Portugal na escala de 1: 50 000*. Notícia explicativa da Folha 34 – Cascais. Comum. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 87p.

- [27] Serralheiro, A. (1987) – *Contribuição para a actualização do conhecimento do complexo vulcânico de Lisboa*. Trabalho adicional Tese Fac. Ciênc. Univ. Lisboa, Lisboa. Lisboa, 39p.
- [28] Short, A. (1999) – *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Chichester, Wiley, 379p.
- [29] Taborda et al. (2009) - *Plano Estratégico do concelho de Cascais face às Alterações Climáticas*. Universidade de Lisboa – Faculdade de Ciências, pp. 46;
- [30] Taborda R., Andrade C., Silva A.M., Silveira T.M. e Lira, C. 2013. Entregável 1.1.7.b *Caracterização do clima de agitação junto à costa*. Relatório Técnico, Projeto Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo. FFCUL/APA, I.P., Lisboa, junho 2013, 22 p. + anexos (não publicado).
- [31] Visher, G. (1969) – *Grain Size Distributions and Depositional Processes*. University of Tulsa, Oklahoma. *Journal of Sedimentary*, Vol. 39, Nº2, pp. 1074-1106.
- [32] Wentworth, K. (1922) – *The journal of Geology*, Vol. 30, Nº5, pp. 377-392.
- [33] Wright, L.D. & Short, A.D. (1984) - *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A Synthesis*. *Marine Geology*, 56, pp. 93-118;

REFERÊNCIAS ELETRÓNICAS

- [1] Online_fall_velocity Fall velocity of a spherical sediment particle, 2015 – [Página Web] «(<http://onlinecalc.sdsu.edu/onlinefallvelocity.php>.)» acedido em Março de 2015.
- [2] IMPA, 2014 - [Página web] «(<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>)» acedido em Abril de 2015.
- [3] IH, 2015 - [Página web] «(<https://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php/>)» acedido em Outubro de 2015.
- [4] FCUL, 2015 - [Página web] «(https://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_tabelas.htm)» acedido em Outubro de 2015.
- [5] TUDelft, 2013. Delft University of Technology – [Página Web] «<http://www.swan.tudelft.nl/>» acedido em maio 2013

CARTAS E MAPAS

- [1] S.G.P. (1993) – Carta Geológica de Portugal, Folha 34 A – Sintra, na escala de 1:50 000 e notícia explicativa.
- [2] S.G.P. (2001) – Carta Geológica de Portugal, Folha 34 C – Cascais, na escala de 1:50 000 e notícia explicativa.

ANEXOS

Anexo 1. Livro de Campo da praia de Santo Amaro

Anexo 2. Livro de Campo da praia de Paço d'Arcos

Anexo 3. Parâmetros granulométricos das amostras da Praia de Santo Amaro

Tabela A. 1 -Parâmetros granulométricos das amostras de sedimento da face da Praia de Santo Amaro.

		Diametro médio (MZ)	Grau de dispersão (σ_1)	Assimetria (SKI)	Curtose (KS)
22-10-2014	PSA1 FP	1,51	0,45	-0,09	1,02
	PSA2 FP	1,10	0,66	-0,18	1,02
	PSA3 FP	1,12	0,72	-0,20	0,95
	PSA4 FP	1,58	0,37	-0,01	0,99
10-12-2014	PSA1 FP	1,60	0,37	-0,10	1,05
	PSA2 FP	1,54	0,47	-0,06	0,97
	PSA3 FP	0,96	0,63	-0,09	1,01
	PSA4 FP	1,53	0,46	-0,05	1,05
19-01-2015	PSA1 FP	1,15	0,54	-0,11	1,01
	PSA2 FP	1,34	0,40	-0,05	1,03
	PSA3 FP	1,25	0,48	-0,07	1,00
	PSA4 FP	1,13	0,54	-0,03	1,03
17-02-2015	PSA1 FP	1,35	0,38	-0,04	0,98
	PSA2 FP	1,61	0,39	-0,08	1,02
	PSA3 FP	1,35	0,53	-0,12	0,93
	PSA4 FP	1,44	0,46	-0,12	1,07
05-03-2015	PSA1 FP	1,45	0,42	-0,10	1,03
	PSA2 FP	1,98	0,33	-0,39	1,62
	PSA3 FP	1,69	0,37	0,00	1,00
	PSA4 FP	1,58	0,42	0,04	1,00
26-03-2015	PSA1 FP	1,71	0,42	-0,17	1,04
	PSA2 FP	1,36	0,69	-0,33	0,92
	PSA3 FP	1,43	0,60	-0,09	0,91
	PSA4 FP	1,73	0,58	-0,22	0,94
29-04-2015	PSA1 FP	1,71	0,43	-0,19	0,98
	PSA2 FP	1,69	0,48	-0,20	1,00
	PSA3 FP	1,91	0,36	-0,17	1,02
	PSA4 FP	1,98	0,38	-0,24	1,05
22-05-2015	PSA1 FP	1,93	0,36	-0,26	1,12
	PSA2 FP	1,91	0,33	-0,11	1,04
	PSA3 FP	1,79	0,36	0,00	0,92
	PSA4 FP	1,79	0,32	-0,02	0,98
18-06-2015	PSA1 FP	1,92	0,34	-0,13	1,05
	PSA2 FP	1,74	0,43	-0,14	1,01
	PSA3 FP	1,75	0,36	-0,05	1,03
	PSA4 FP	1,41	0,60	-0,26	1,02

Tabela A. 2 - Parâmetros granulométricos das amostras de sedimento da berma da Praia de Santo Amaro.

		Diametro médio (MZ)	Grau de dispersão (σ_1)	Assimetria (SKI)	Curtose (KS)
22-10-2014	PSA1 B	1,20	0,56	-0,13	1,11
	PSA2 B	1,07	0,53	-0,11	1,06
	PSA3 B	1,18	0,46	-0,05	1,06
	PSA4 B	1,25	0,45	-0,01	0,98

Anexo 4. Parâmetros granulométricos das amostras da Praia de Paço d’Arcos

Tabela A. 3 - Parâmetros granulométricos das amostras de sedimento da face da Praia de Paço d’Arcos.

		Diametro médio (MZ)	Grau de dispersão (σ_1)	Assimetria (SKI)	Curtose (KS)
14-10-2014	PPA1 FP	1,83	0,33	-0,01	0,96
	PPA2 FP	1,73	0,34	-0,04	1,01
	PPA3 FP	1,78	0,34	-0,01	0,93
	PPA4 FP	1,52	0,38	0,01	1,00
17-12-2014	PPA1 FP	1,89	0,39	-0,11	1,03
	PPA2 FP	1,66	0,47	-0,09	0,94
	PPA3 FP	1,68	0,47	-0,11	1,00
	PPA4 FP	1,64	0,44	-0,05	0,96
27-01-2015	PPA1 FP	1,96	0,37	-0,17	1,02
	PPA2 FP	1,94	0,33	-0,05	1,00
	PPA3 FP	1,97	0,38	-0,20	1,06
	PPA4 FP	1,89	0,34	-0,11	0,99
17-02-2015	PPA1 FP	1,72	0,41	-0,11	1,00
	PPA2 FP	1,56	0,39	-0,02	1,02
	PPA3 FP	1,72	0,38	-0,05	0,95
	PPA4 FP	1,45	0,42	-0,04	1,08
05-03-2015	PPA1 FP	1,81	0,34	-0,03	0,98
	PPA2 FP	1,73	0,43	-0,09	0,99
	PPA3 FP	1,73	0,32	-0,04	0,99
	PPA4 FP	1,70	0,45	-0,05	1,11
26-03-2015	PPA1 FP	2,09	0,31	-0,10	1,05
	PPA2 FP	1,49	0,31	-0,08	1,02
	PPA3 FP	1,99	0,33	-0,14	1,05
	PPA4 FP	1,84	0,38	-0,18	1,05
29-04-2015	PPA1 FP	1,96	0,39	-0,09	1,04
	PPA2 FP	2,03	0,35	-0,09	1,04
	PPA3 FP	1,89	0,36	-0,01	1,04
	PPA4 FP	1,78	0,43	-0,09	1,05
22-05-2015	PPA1 FP	1,97	0,34	-0,10	0,99
	PPA2 FP	1,92	0,34	-0,09	0,98
	PPA3 FP	1,84	0,39	-0,14	1,01
	PPA4 FP	1,86	0,32	-0,06	1,00
18-06-2015	PPA1 FP	2,04	0,33	-0,15	1,05
	PPA2 FP	2,09	0,30	-0,14	1,09
	PPA3 FP	1,87	0,42	-0,17	1,00
	PPA4 FP	1,99	0,32	-0,14	1,02

Tabela A. 4 - Parâmetros granulométricos das amostras de sedimento da berma da Praia de Paço d'Arcos.

		Diametro médio (MZ)	Grau de dispersão (σ_1)	Assimetria (SKI)	Curtose (KS)
14-10-2014	PPA1 B	1,62	0,43	0,00	1,01
	PPA2 B	1,64	0,40	0,01	1,05
	PPA3 B	1,62	0,44	0,05	1,05
	PPA4 B	1,63	0,44	0,06	1,06

Tabela A. 5 - Parâmetros granulométricos das amostras de sedimento da lomba da Praia de Paço d'Arcos.

		Diametro médio (MZ)	Grau de dispersão (σ_1)	Assimetria (SKI)	Curtose (KS)
14-10-2014	PPA1 L	1,62	0,44	-0,03	0,96
	PPA2 L	1,60	0,43	-0,02	0,98
	PPA3 L	1,76	0,37	-0,03	0,98
	PPA4 L	1,59	0,45	-0,03	0,96